

VU Research Portal

Investeren in schone toekomst

Koopmans, C.C.; Tieben, B.; van der Berg, M.R.; Willebrands, D.

2010

document version

Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link to publication in VU Research Portal](#)

citation for published version (APA)

Koopmans, C. C., Tieben, B., van der Berg, M. R., & Willebrands, D. (2010). *Investeren in schone toekomst*. (SEO Economisch Onderzoek; No. 40). SEO Economisch Onderzoek.

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

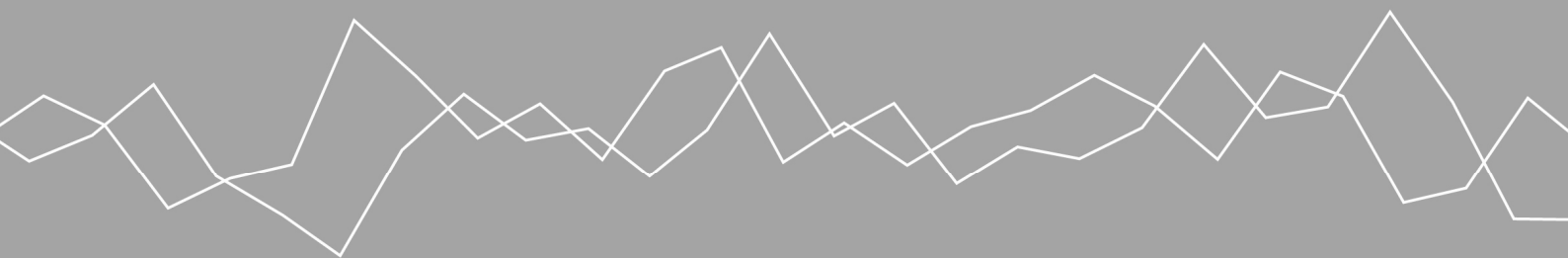
Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

E-mail address:

vuresearchportal.ub@vu.nl

Investeren in een schone toekomst



seo economisch onderzoek

Amsterdam, juli 2010
In opdracht van het Regieorgaan Energietransitie

Investeren in een schone toekomst

De kosten en baten van een duurzame energiehuishouding in Nederland

Carl Koopmans
Bert Tieben
Marcel van den Berg
Daan Willebrands



seo economisch onderzoek

“De wetenschap dat het goed is”

SEO Economisch Onderzoek doet onafhankelijk toegepast onderzoek in opdracht van overheid en bedrijfsleven. Ons onderzoek helpt onze opdrachtgevers bij het nemen van beslissingen. SEO Economisch Onderzoek is gelieerd aan de Universiteit van Amsterdam. Dat geeft ons zicht op de nieuwste wetenschappelijke methoden. We hebben geen winstoogmerk en investeren continu in het intellectueel kapitaal van de medewerkers via promotietrajecten, het uitbrengen van wetenschappelijke publicaties, kennisnetwerken en congresbezoek.

Rapportnr. 2010-40

ISBN 978-90-6733-570-6

Copyright © 2010 SEO Amsterdam. Alle rechten voorbehouden. Het is geoorloofd gegevens uit dit rapport te gebruiken in artikelen en dergelijke, mits daarbij de bron duidelijk en nauwkeurig wordt vermeld.

Inhoudsopgave

| | |
|------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Ten geleide | i |
| Executive Summary | iii |
| 1 Hoofdconclusies: Investeren in een schone toekomst | 1 |
| 1.1 Economische en maatschappelijke dimensies van energietransitie..... | 1 |
| 1.2 Waarom een maatschappelijke kosten-batenanalyse?..... | 3 |
| 1.3 Resultaten KKBA op hoofdlijnen | 6 |
| 1.4 Wat zijn de economische kansen voor Nederland?..... | 9 |
| 1.5 Gevolgen voor beleid | 13 |
| 1.6 Onzekerheden in het toekomstbeeld | 15 |
| 2 Opzet KKBA | 19 |
| 2.1 Wat kunnen we van een KKBA verwachten? | 19 |
| 2.2 Toelichting analytisch kader | 22 |
| 2.3 Bijdrage van de transitieplatforms | 23 |
| 2.4 Projecteffecten..... | 23 |
| 2.4.1 Directe effecten | 24 |
| 2.4.2 Indirecte effecten | 24 |
| 2.4.3 Externe effecten | 25 |
| 2.4.4 Kosten..... | 25 |
| 2.4.5 Verdelingseffecten | 26 |
| 3 De invulling van nul- en projectalternatieven..... | 27 |
| 3.1 Scenario's: rekening houden met onzekerheid | 27 |
| 3.2 De invulling van de nulalternatieven in BAU en Blue Map | 28 |
| 3.3 De invulling van de projectalternatieven..... | 31 |
| 3.3.1 Indeling van de projectalternatieven..... | 31 |
| 3.3.2 Ontwikkeling aan de vraagzijde..... | 32 |
| 3.3.3 Verandering van de energiemix | 40 |
| 3.4 Transitie naar duurzame mobiliteit..... | 44 |
| 4 Kosten en batenanalyse | 51 |
| 4.1 De baten van energietransitie | 51 |
| 4.1.1 Energiebesparing..... | 51 |
| 4.1.2 Voorzieningszekerheid..... | 52 |
| 4.1.3 Bestedingsimpuls..... | 54 |
| 4.1.4 Effect op de structurele groei | 57 |
| 4.1.5 Werkgelegenheidseffecten van energietransitie | 60 |
| 4.1.6 Waardering externe effecten: CO ₂ en overige emissies | 63 |
| 4.2 De kosten van energietransitie | 71 |
| 4.2.1 Kosten van energiebesparing | 71 |
| 4.2.2 Productiekosten van de energiemix | 74 |

| | | |
|------------------|------------------------------------------------------------------|------------|
| 4.2.3 | Reguleringskosten | 85 |
| 4.2.4 | Kosten van belastingheffing..... | 88 |
| 4.3 | Kosten en baten van het nulalternatief in Blue Map..... | 89 |
| 4.4 | Robuustheidsanalyse..... | 92 |
| 4.4.1 | Discontovoet | 93 |
| 4.4.2 | CO ₂ -prijs..... | 95 |
| 4.4.3 | Leereffecten | 95 |
| 4.4.4 | Olieprijs | 97 |
| Bijlage A | Energiemix BAU-scenario | 99 |
| Bijlage B | Overige emissies in BAU..... | 101 |
| Bijlage C | Berekening van de productiekosten van de energiemix | 103 |
| Bijlage D | Literatuur..... | 105 |

Ten geleide

Dit rapport is opgesteld in opdracht van het Regieorgaan Energietransitie. Aan de totstandkoming hebben veel mensen een bijdrage geleverd. De auteurs zijn de leden van de voor dit rapport geformeerde expertgroep erkentelijk voor de stimulerende discussies en kritische kanttekeningen. De leden van deze groep waren Rob Aalbers (CPB), Eric Drissen (PBL), Marc Londo (ECN Beleidsstudies), Ad van Wijk (ondernemer), Wilbert van Seggelen (Lysias), Harry Droog (lid Regieorgaan EnergieTransitie), Hans van Luijk (lid Regieorgaan EnergieTransitie), Ton Runneboom (lid Regieorgaan EnergieTransitie), Bart Jan Krouwel (lid Regieorgaan EnergieTransitie), Eppe Luken (secretariaat Regieorgaan Energietransitie), Kees van Haastrecht (secretariaat Regieorgaan EnergieTransitie). De expertgroep fungeerde als klankbord. Inhoud en conclusies van dit rapport komen volledig voor rekening van de auteurs. Vertegenwoordiging in de expertgroep betekent niet dat organisaties als CPB, PBL en ECN de conclusies of kwaliteit van de studie delen of anderszins ondersteunen.

Naast de expertgroep hebben de auteurs in gesprekken en interviews veel nuttige informatie gekregen van de voorzitters en secretarissen van de Transitieplatforms Duurzame Elektriciteit, Duurzame Mobiliteit, Nieuw Gas, Groene Grondstoffen, Ketenefficiency, Gebouwde Omgeving en Kas als Energiebron. Ook zij worden dankgezegd voor hun bijdrage aan de totstandkoming van dit rapport.

Carl Koopmans
Bert Tieben
Marcel van den Berg
Daan Willebrands

Executive Summary

Investeren in een duurzame energiehuishouding in Nederland loont: de maatschappelijke baten zijn groter dan de kosten. Dit is de conclusie van een kengetallen kosten-batenanalyse van de investeringen die nodig zijn voor de totstandkoming van een duurzame energiehuishouding.

De kosten-batenanalyse is uitgevoerd tegen de achtergrond van twee economische scenario's die als mogelijk beeld voor de toekomst veronderstellen dat de wereld wel of geen gezamenlijke inspanning pleegt om duurzaamheid te bevorderen. Dit zijn geen projecties met uitspraken over een waarschijnlijke toekomst, maar analytische constructies om grip te krijgen op de onzekerheid die inherent is aan investeringen met een zichtlijn van minstens 40 jaar. Zo laat het 'business as usual' scenario zien wat er gebeurt als er geen effectieve internationale samenwerking van de grond komt om de energiehuishouding wereldwijd te verduurzamen. In dit scenario is Nederlands beleid gericht op een ambitieuze doelstelling voor duurzame energie relatief duur. De doelstellingen voor duurzame energie zijn goedkoper te realiseren in het Blue Map scenario dat veronderstelt dat via internationale afspraken wereldwijd de uitstoot van broeikasgassen en overige emissies flink wordt teruggebracht in de periode tot 2050. De resultaten voor de scenario's kunnen dus niet ongekwalficeerd vergeleken worden. Het zijn 'wat als' conclusies. Als er internationaal een flinke verduurzaming plaatsvindt zijn de kosten voor Nederland lager dan bij een "alleingang".

Er zijn verschillende routes naar minder uitstoot van broeikasgassen. Dit rapport onderzoekt de maatschappelijke kosten en baten van verschillende mogelijkheden om in Nederland in 2050 de uitstoot van CO₂ met 80% te verminderen. De centrale conclusie van het onderzoek is dat een route met veel hernieuwbare energie geen totaal ander saldo oplevert van maatschappelijke kosten en baten dan een route waarin CO₂-opslag en kerncentrales centraal staan. Voor beide opties zijn grote investeringen in kapitaal en kennis nodig.

Belangrijke onzekerheden zijn naast het beleid van andere landen: het gewicht van toekomstige generaties (disconteringsvoet), de waarde van CO₂-reducties, de ontwikkeling van energieprijzen en de snelheid waarmee de kosten van schone technieken dalen. Uit een robuustheidsanalyse blijkt dat de baten van een duurzame energiehuishouding ook onder andere, minder gunstige veronderstellingen doorgaans groter zijn dan de kosten.

De belangrijkste baten van een duurzame energiehuishouding zijn energiebesparing en lagere emissies. Daarnaast zijn er bestedingsimpulsen, wordt de economie in sommige varianten kennisintensiever en kunnen er voordelen zijn voor de energievoorzieningszekerheid. De grootste kosten zijn investeringen in energiebesparing en in andere energiebronnen. Daarnaast treden substantiële reguleringskosten en mogelijk kosten van belastingheffing op bij het tot stand brengen van deze investeringen. Een duurzame energiehuishouding leidt niet automatisch tot meer voorzieningszekerheid. Zo kan de afhankelijkheid van import van biomassa toenemen. Bij de route met CO₂-opslag en kerncentrales blijft niet alleen de afhankelijkheid van buitenlandse kolen en gas groot, maar neemt ook de afhankelijkheid van uranium toe.

De weg naar een duurzame energiehuishouding kent winnaars en verliezers. Nieuwe kansen voor omzet- en winstgroei ontstaan voor sectoren met een relatie tot de duurzame energiesector; dit verdient nader onderzoek. De verliezers zitten in de hoek van de fossiele brandstoffen zoals de delfstoffenwinning. Ook treedt er een verschuiving op van de energie-intensieve industrie naar dienstensectoren.

Deze berekeningen leiden tot belangrijke boodschappen voor het energiebeleid. Het is niet waarschijnlijk dat Nederland los van internationale afspraken een eigen doelstelling en zuiver nationaal beleid ontwerpt voor verduurzaming van de energiehuishouding. Deze kengetallen kosten-batenanalyse onderbouwt in de eerste plaats de noodzaak van internationale samenwerking. Het ‘business as usual’ scenario veronderstelt de Nederlandse ‘alleingang’ als een extreme situatie. Verduurzaming in dit scenario kent relatief hoge kosten omdat niet geprofiteerd kan worden van kennis die elders wordt ontwikkeld. Ook kan daarin veel minder worden geprofiteerd van economische kansen rond duurzame energie. Het scenario met internationale samenwerking kent dus specifieke voordelen.

De kosten-batenanalyse van het scenario met internationale samenwerking laat in de tweede plaats zien dat nationaal beleid in vervolg op internationale afspraken niet automatisch rendabel is. Via de uitwerking van internationale afspraken kan nationaal in 2050 een reductie van 50% van de CO₂-emissie worden gerealiseerd. Maatregelen die verder gaan en beogen tot circa 80% emissiereductie te realiseren kunnen alleen tegen relatief hoge kosten worden uitgevoerd, omdat de goedkope oplossingen dan al zijn benut.

In de derde plaats verdient het saldo van de maatschappelijke kosten en baten van de twee routes voor verduurzaming aandacht. Dit gaat om routes met nadruk op fossiele energiebronnen zoals kernenergie en toepassing van de afvang en opslag van CO₂ bij reguliere energiecentrales respectievelijk hernieuwbare energiebronnen zoals windenergie en zonne-energie. De opties leveren geen totaal andere conclusies op. Dit betekent dat er volgens deze kengetallen kosten-batenanalyse geen voorkeur bestaat voor een specifieke route op basis van het effect op de welvaart.

Welke route uiteindelijk de voorkeur verdient is een politieke keuze. Beide routes vragen grote investeringen in kennis en kapitaal. Dit vraagt een slagvaardige aanpak van de overheid en andere betrokken organisaties omdat anders de doelstellingen onderzocht in deze analyse niet gehaald zullen worden. Bij de beleidsmatige keuzes moet oog zijn voor het risico van padafhankelijkheid. De conclusies van dit onderzoek zijn getrokken op basis van de nu beschikbare kennis. De overheid moet via toekomstig onderzoek een vinger aan de pols houden om te waarborgen dat de ingeslagen weg de juiste is.

Tot slot verdient de keuze van beleidsmaatregelen meer aandacht. In dit onderzoek is het nationale beleid vooral ingevuld met subsidies. De kosten en baten van andere instrumenten zoals regulering verdienen nader onderzoek.

1 Hoofdconclusies: Investeren in een schone toekomst

1.1 Economische en maatschappelijke dimensies van energietransitie

De gevolgen van fossiel energieverbruik...

Vanaf de jaren zeventig staat de relatie tussen energie en klimaatverandering in een stijgende belangstelling van wetenschap en samenleving. De Nederlander Tjalling Koopmans gaf in 1975 bij het aanvaarden van de Nobelprijs voor de Economie het signaal af dat fossiele energie naast de uitputting van energiebronnen een tweede probleem kent: klimaatverandering als gevolg van de temperatuurstijging door de uitstoot van broeikasgassen.¹ 35 jaar later zijn de effecten van het fossiele energiegebruik verder onderzocht en onderbouwd. IEA (2009) spreekt van “catastrofale” gevolgen als een omslag naar meer duurzaam energiegebruik uitblijft. De Europese Unie noemt het klimaatprobleem “one of the greatest environmental, social and economic threats facing the planet.” Het “Fourth Assessment Report (AR4)” van het *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) laat zien dat de gemiddelde temperatuur wereldwijd sinds 1850 met 0,76 °C is gestegen met als waarschijnlijke oorzaak de emissie van broeikasgassen zoals CO₂. Zonder corrigerende maatregelen zou de temperatuurstijging deze eeuw kunnen doorzetten met een bandbreedte van 1,8 tot 4,0 °C tot 6,4 °C in het meest extreme scenario (IPCC 2007). De Europese doelstellingen voor reductie van de broeikasgassen met 20% ten opzichte van 1990 moeten in dit licht worden gezien, mede als de afspraak tussen de landen van de G8 in L'Aquila in juli 2009 voor reductie van broeikasgassen met 80% in 2050 ten opzichte van het niveau in 1990.

...en de ambities van het klimaatbeleid

In Nederland is het beleid in de afgelopen jaren gebaseerd geweest op het kabinetsprogramma Schoon & Zuinig met als richtjaar 2020. Het Regieorgaan Energietransitie schetst in zijn visie *Duurzame energie in een nieuwe economische orde* (2008) een beeld voor de langere termijn met als doel een 100% duurzame energiehuishouding met een focus op de productie van warmte en elektriciteit. De WRR (2006) onderstreept de obstakels bij de realisatie van klimaatambities. Oplossingen lopen aan tegen de bovenationale schaal van het klimaatprobleem en de lange tijdsdimensie. De oorzaken liggen in het heden en verleden, maar de gevolgen treden met grote vertraging op. Dat heeft ook financiële gevolgen. De kosten van emissiereductie in het heden moeten worden afgewogen tegen potentiële schades in de (verre) toekomst. Dat is niet alleen een lastige kostenafweging, maar ook een lastige afweging van belangen van verschillende generaties.

Klimaatambities vragen grote investeringen...

Dit onderzoek heeft als doel om de kosten en baten van energietransitie scherper in beeld te brengen. Op dit moment ligt de nadruk sterk op de kosten van de investeringen die nodig zijn om de huidige nadruk op fossiel energiegebruik om te buigen naar een meer duurzame energiehuishouding. Zo ziet de IEA in zijn nieuwste uitgave van de *Energy Technology Perspectives*

¹ Tjalling Koopmans, speech at the Nobel Banquet, December 10, 1975. Zie: W. Odelberg, ed. (1976), *Les Prix Nobel en 1975*, Stockholm.

(2010) noodzaak voor een technologische revolutie in de energie. Wil de emissie van broeikasgassen wereldwijd in 2050 dalen naar een niveau van 50% ten opzichte van 2007 dan moeten de investeringen in de benodigde technologieën zoals windenergie op zee en CCS meer dan 40 maal het huidige niveau bedragen. Deze revolutie zou op wereldschaal volgens IEA (2008) in totaal jaarlijks US\$ 1.100 miljard kosten, ongeveer 1,1% van het wereld Bruto Nationaal Product voor ieder jaar tot 2050. Voor Europa zou de rekening volgens een recente studie van de *European Climate Foundation* (ECF) circa €50 miljard per jaar bedragen, als volstaan wordt met een transitie waarin met bewezen technologieën een reductiedoel van 80% in 2050 wordt nagestreefd.² VROM-raad en AER hebben eerder berekend dat een ambitieus plan voor energietransitie Nederland jaarlijks €4 miljard aan investeringen kost (VROM-raad/AER 2004).

...maar kennen ook maatschappelijke en economische baten

Een duurzame energiehuishouding gaat zuiniger om met energie en bespaart daarmee flinke bedragen. Volgens IEA kunnen deze besparingen tegen een discontovoet van 3% zelfs opwegen tegen de investeringskosten van het transitieproces met bestaande technologieën waarin in 2050 wereldwijd de broeikasgasemissies met 50% zijn teruggebracht (IEA 2008, p. 40). De ECF studie (ECF 2010) brengt duidelijker naar voren waar de mogelijke baten van energietransitie zitten. Een Europese voorsprong in het transitievraagstuk kan zich volgens deze studie vertalen in een concurrentievoordeel bij de export van 'clean tech'. Deze voorsprong zou kortdurend zijn maar vertegenwoordigt desalniettemin een baat van € 250 miljard voor Europa in de periode tussen 2010 en 2020. Lagere energieprijzen en productiviteitswinst versterken het comparatief voordeel op de langere termijn waarvan de omvang moeilijk is in te schatten volgens ECF. De werkgelegenheid reageert in lijn met de BBP-trend. Netto zal energietransitie weinig invloed hebben op de werkgelegenheid, maar de verschillen tussen sectoren zullen groot zijn. Zo zullen de sectoren die verband houden met duurzame energie een sterke werkgelegenheidsgroei laten zien die ten koste gaat van de werkgelegenheid in de fossiele energiesector. Volgens ECF (2010, p. 86) zou dit in Europa kunnen gaan om een winst van 420.000 banen tegenover een verlies van 260.000. Bij de mogelijke winst in economische groei en werkgelegenheid moeten worden opgeteld de baten van een grotere voorzieningzekerheid in de duurzame energiehuishouding en de milieuwinst van sterk verminderende emissies van broeikasgassen.

Kansen voor Nederland

De vraag die in dit onderzoek centraal staat is wat de maatschappelijke kosten en baten van energietransitie kunnen zijn voor de Nederlandse samenleving. De informatie op dit punt is volop in ontwikkeling. ECN heeft in het Optiedocument een schatting gemaakt van de kosten van verschillende instrumenten waarmee een beeld ontstaat van de marginale kostencurve voor energietransitie onder verschillende economische scenario's.³ Het Innovatieplatform heeft recentelijk benadrukt dat duurzame energie voor Nederland economisch potentieel heeft met een geschatte netto omvang van € 10 tot 16 miljard in 2020. Zo kan energietransitie een direct economisch effect hebben op het concurrentievermogen van de duurzame energiesector in ons land, bijvoorbeeld door groei van exportkansen en marktaandeel.⁴ Dit kan een groei in de werkgelegenheid betekenen van circa 38.000 tot 73.000 FTE in 2020. Daarnaast hebben investeringen in duurzame energie indirecte effecten op innovatie, volumegroei en toenemende

² Zie: ECF (2010), p. 78.

³ Zie ECN (2006).

⁴ Zie: Van der Slot, Althoff en van den Berg (2010), p. 20.

energie-efficiëntie in gerelateerde sectoren zoals chemie, voeding en hightech systemen. Dit heeft volgens deze studie een bruto effect in 2020 van € 20 tot 35 miljard per jaar.

1.2 Waarom een maatschappelijke kosten-batenanalyse?

Vraagstelling onderzoek

Voor het beleid rondom energietransitie is meer kennis nodig van de hier genoemde kosten en baten van energietransitie. De genoemde studies bieden zeker voor Nederland een partieel inzicht in de economische en maatschappelijke effecten van energietransitie. Vaak zijn de kosten van de instrumentering van energietransitiebeleid buiten beschouwing gelaten of ontbreekt inzicht in de wisselwerking op de arbeidsmarkt tussen groeiende en krimpende sectoren. Dit onderzoek beoogt op basis van bestaande gegevens een kosten- en batenanalyse uit te voeren waarin de integrale analyse van dit type effecten centraal staat. Dit betekent concreet dat een inschatting wordt gemaakt van het welvaartseffect van investeren in een schone toekomst voor alle sectoren van de economie op basis van een beoordeling van de maatschappelijke kosten en baten.

De toegevoegde waarde van een maatschappelijke kosten-batenanalyse

Energietransitie is geen blauwdruk: er zijn meerdere routes naar een schonere toekomst mogelijk. Zo kan worden gekozen voor ondergrondse opslag van CO₂, maar ook voor inzet van meer hernieuwbare bronnen zoals wind en zon. Het is de vraag welke route vanuit maatschappelijk en economisch perspectief gewenst is. Uiteindelijk wordt dat bepaald door de politiek, maar het is bij dergelijke grote keuzes nuttig als er integrale informatie is over de baten en kosten.

Een maatschappelijke kosten-batenanalyse (MKBA) is een systematische methode om de kosten en baten van overheidsbeleid voor de samenleving in kaart te brengen. Een MKBA drukt alle aspecten waaraan mensen waarde hechten (voor zover mogelijk) in geld uit en telt deze op. Dat geldt ook voor zaken die meestal niet in geld worden gewaardeerd zoals klimaatverandering en emissies. Een MKBA geeft als output veelal een baten-/kostensaldo of baten-/kostenverhouding. In de praktijk leiden maatregelen voor sommigen tot baten en voor anderen tot kosten: de zogenoemde verdelingseffecten. 'De politiek' maakt de afweging tussen het kosten-/batensaldo en de verdelingseffecten, waarbij ook eigen afwegingen door politici meespelen, zoals electorale effecten. Er hoeft dus niet conform de MKBA besloten te worden, maar de MKBA bevat wel belangrijke inhoudelijke informatie ten behoeve van een politiek besluit.

Analyse op basis van kengetallen

Het uitgevoerde onderzoek is een zogenaamde kengetallen kosten-batenanalyse (KKBA). De cijfers zijn ontleend aan beschikbare literatuur. Er zijn geen energiemodellen opgesteld of andere uitvoerige berekeningen voor de Nederlandse en mondiale energievoorziening uitgevoerd. Deze aanpak past bij een eerste verkenning van een breed palet aan mogelijkheden, maar het stelt ook beperkingen aan de conclusies die op basis van dit onderzoek getrokken kunnen worden.

Beleidsmatige doelstellingen in de MKBA

Het doel van energietransitie is een ingrijpende vergroening van de Nederlandse energievoorziening. In lijn daarmee is in de MKBA uitgegaan van 80% emissiereductie in alle

transitievarianten. Met dit uitgangspunt sluit de studie aan bij bijvoorbeeld de afspraken gemaakt op de G8-top in juli 2008 en de doelstelling van IEA-scenario's en de recente studie van het ECF (2010). Bij de energietransitie zijn twee routes onderscheiden:

- De fossiele route. Hierbij blijft het fossiele energiegebruik hoog, ondanks een hogere energiebesparing. De CO₂-emissie wordt gereduceerd door te investeren in kernenergie en CO₂-afvang en -opslag.
- De hernieuwbare route. Hierin wordt nog sterker ingezet op besparing. Bovendien wordt sterker geïnvesteerd in hernieuwbare energiebronnen, in het bijzonder wind, zon en biomassa.

Nulalternatief versus projectalternatief

Deze twee routes heten in de terminologie van een maatschappelijke kosten-batenanalyse een projectalternatief. Het projectalternatief geeft de opties aan die voor beleidsmakers van belang zijn. Om de kosten en baten van de beleidskeuzen in beeld te brengen worden de projectalternatieven vergeleken met een nulalternatief. Dit nulalternatief is het startpunt voor de analyse en betreft meestal de veronderstelling dat het huidige beleid ongewijzigd wordt voortgezet. Voor de projectalternatieven worden de maatschappelijke kosten en baten uitgerekend in relatie tot dit nulalternatief.

De rol van omgevingsscenario's

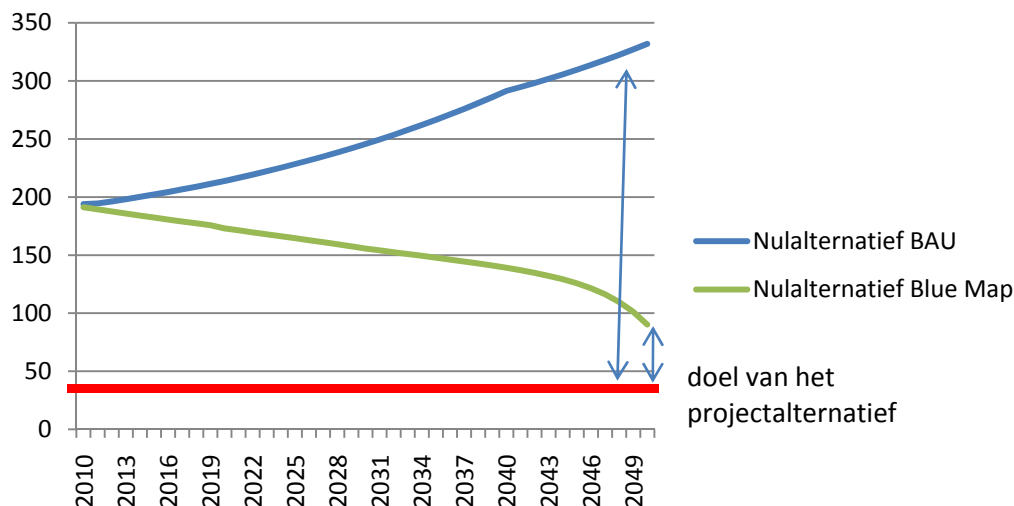
Om de invloed van de internationale omgeving zichtbaar te maken zijn de twee projectalternatieven doorgetrokken in twee omgevingsscenario's: een BAU-scenario met 'business-as-usual' eigenschappen en een "Blue map" scenario waarin internationaal veel energie- en milieubeleid worden gevoerd. De omgevingsscenario's specificeren alleen de economische achtergrond waartegen de investering in een duurzame energiehuishouding plaatsvindt. Er kan geen beleidsmatige keuze voor of tegen een scenario worden gemaakt. Het gaat om ontwikkelingen die voor ons land een gegeven factor zijn.

Een scenario is geen projectie met uitspraken over een waarschijnlijke toekomst, maar een analytische constructie om grip te krijgen op de onzekerheid die inherent is aan investeringen met een zichtlijn van minstens 40 jaar. Zo laat het 'business as usual' scenario zien wat er gebeurt als er geen effectieve internationale samenwerking van de grond komt om de energiehuishouding wereldwijd te verduurzamen. In dit scenario is Nederlands beleid gericht op een ambitieuze doelstelling voor duurzame energie relatief duur. De doelstellingen voor duurzame energie zijn goedkoper te realiseren in het Blue Map scenario dat veronderstelt dat via internationale afspraken wereldwijd de uitstoot van broeikasgassen en overige emissies flink wordt teruggebracht in de periode tot 2050. De resultaten voor de scenario's kunnen dus niet ongekwalificeerd vergeleken worden. Het zijn 'wat als' conclusies. De beleidsruimte voor de Nederlandse overheid ligt bij de vergelijking tussen de projectalternatieven fossiel en hernieuwbaar, gegeven de situatie in het omgevingsscenario.

Figuur 1.1 licht het verschil tussen nulalternatief en projectalternatief toe aan de hand van een grafiek. De grafiek schetst de ontwikkeling van de CO₂ emissie in beide omgevingsscenarios. Door de hoge economische groei stijgt de CO₂-emissie in het BAU-scenario met circa 70% in de periode tot 2050. Dit is de ontwikkeling die zal plaatsvinden onder de veronderstelling dat er niets verandert aan het huidige nationale en internationale beleid. Bestaand beleid wordt

uitgevoerd en waar ingezet beleid eindig is zal het op de voorziene datum stoppen. In het Blue Map is dit bestaande beleid van een andere orde dan in BAU. Blue Map voorziet in een gecoördineerde aanpak van landen gericht op verduurzaming van de energiehuishouding. De deelname van Nederland resulteert in een nulalternatief dat 50% emissiereductie in ons land realiseert (ten opzichte van 1990). Dit is het gevolg van de nationale invulling van de internationale afspraken in ons land die in dit nulalternatief als een gegeven gelden.

Figuur 1.1 Vergelijking ontwikkeling nulalternatief en doelstelling projectalternatief (in Mton CO₂)



De projectalternatieven specificeren de beleidsruimte van Nederland tegen de achtergrond van de omgevingsscenario's. De projectalternatieven hebben hetzelfde doel: 80% emissiereductie ten opzichte van 1990. Dit doel is weergegeven met de rode lijn in Figuur 1.1. Voor het BAU-scenario biedt dit doel voor de projectalternatieven een heel andere opgave dan voor het Blue Map scenario. Er moet in BAU via de projectalternatieven een veel grotere reductie tot stand komen dan in Blue Map. In Blue Map realiseert het nulalternatief al een reductie. Dit verschil heeft gevolgen voor de maatschappelijke kosten en baten van de projectalternatieven tegen de achtergrond van een verschillend omgevingsscenario. De vergelijking tussen de scenario's mag, zoals Figuur 1.1 laat zien, niet zomaar gemaakt worden omdat het startpunt verschillend is.

Betekenis van het nulalternatief Blue Map

In het nulalternatief Blue Map is het 'bestaand' beleid van een heel andere orde dan in BAU. Dit bestaand beleid moet gezien worden tegen de achtergrond van de kenmerken van het omgevingsscenario. Als dit scenario zich voordoet, zal Nederland partner zijn in de internationale coalitie die nodig is voor realisatie van dit scenario. Het is niet waarschijnlijk dat ons land zich in deze situatie aan internationale afspraken voor verduurzaming van de energiehuishouding zal onttrekken. Het scenario Blue Map zal volgens de specificaties van IEA wereldwijd leiden tot 50% emissiereductie van CO₂. Het onderzoek veronderstelt dat het nulalternatief Blue Map ook 50% emissiereductie bereikt. Dit is het gebonden deel van de internationale afspraken; gebonden omdat Nederland conform de internationale afspraken geen of maar weinig keus zal hebben bij implementatie van de maatregelen, zoals een emissiehandelssysteem en verschillende vormen van regulering. Blue Map impliceert dat de ontwikkelde economieën uiteindelijk meer dan 50% emissiereductie moeten realiseren om wereldwijd gemiddeld 50% reductie te bereiken. Dit

rapport veronderstelt dat Nederland uiteindelijk in 2050 80% emissiereductie bereikt. Dit gebeurt via de maatregelen die onderdeel zijn van de projectalternatieven. De projectalternatieven belichamen de nationale beleidsruimte bij deelname aan de internationale samenwerking en zijn voor een deel invulling van de internationale maatregelen via zelf te kiezen instrumenten en deels aanvulling via extra beleid.

1.3 Resultaten KKBA op hoofdlijnen

Totaalbeeld

De hoofdconclusie van deze KKBA is dat investeren in de transitie naar een duurzame energiehuishouding in Nederland een rendabele activiteit is. Deze conclusie volgt uit het saldo van de maatschappelijke baten en kosten in Tabel 1.1. Voor de twee projectalternatieven in het BAU-scenario zijn de maatschappelijke baten hoger dan de maatschappelijke kosten. De netto contante waarde van dit positieve saldo ligt afhankelijk van het projectalternatief tussen € 185 miljard en € 340 miljard. Bij het Blue Map scenario is het startpunt anders dan bij de projectalternatieven in het BAU-scenario, omdat in het nulalternatief al een stevig begin is gemaakt met de transitie naar een duurzame energiehuishouding. De netto baten van deze start via internationale samenwerking zijn circa € 204 miljard tot € 301 miljard. Dit is de som van de maatschappelijke kosten en baten in Nederland als ons land via deelname aan internationaal beleid bijdraagt aan de transitie naar een duurzame energiehuishouding. De projectalternatieven in Blue Map veronderstellen dat Nederland nog een stap verder gaat en via eigen beleid de CO₂-emissie terugbrengt tot 80% van het 1990-niveau. Dit levert een saldo op van – € 83 miljard tot € 9 miljard, afhankelijk van het projectalternatief.

Nationaal versus internationaal beleid

De verschillen van het resultaat voor de BAU- en Blue Mapscenario's zijn te verklaren door het internationale beleid. BAU veronderstelt een 'alleingang' van Nederland bij de transitie naar een duurzame energiehuishouding. Dit is relatief duur, omdat internationale samenwerking kostenvoordelen biedt door betere kansen voor technologische ontwikkeling en schaafeffecten. De netto baten van internationaal beleid, die in Tabel 1.1 zijn berekend voor het Blue Map scenario, zijn per ton vermeden CO₂-emissie hoger dan voor de projectalternatieven in het BAU-scenario. De nationale maatregelen in vervolg op de internationale samenwerking zijn echter niet automatisch rendabel, zoals blijkt uit het saldo van de maatschappelijke kosten en baten van de projectalternatieven in Blue Map. De nationale inzet loopt aan tegen het probleem dat de relatief goedkope maatregelen al zijn genomen bij implementatie van de internationaal vastgelegde acties.

De maatschappelijke kosten van de projectalternatieven in BAU zijn relatief hoog door het ontbreken van internationale samenwerking. Het saldo van de projectalternatieven in BAU is hoger dan het saldo van nationaal en internationaal beleid in Blue Map. Dit komt doordat in Blue Map een lagere waardering voor de baat van vermeden CO₂-emissie is toegepast. In de robuustheidsanalyse is de waardering van CO₂ in BAU gehalveerd. Dan komt duidelijk naar voren dat de netto baten van internationaal en nationaal beleid in Blue Map hoger zijn dan voor de projectalternatieven in het BAU-scenario.

Weinig verschillen tussen de projectalternatieven fossiel en hernieuwbaar

De kosten en baten van energietransitie zijn voor verschillende vormen van energietransitie – fossiel versus hernieuwbaar – van vergelijkbare orde van grootte. Het projectalternatief met veel hernieuwbare energie levert met circa € 185 tot 315 miljard in BAU en € 141 tot 310 miljard in Blue Map geen totaal ander saldo op van maatschappelijke kosten en baten dan het projectalternatief waarin CO₂-opslag en kerncentrales centraal staan. Voor beide opties zijn grote investeringen in kapitaal en kennis nodig.

De invloed van onzekerheid

Uit een robuustheidsanalyse blijkt dat de baten van een duurzame energiehuishouding ook onder andere veronderstellingen doorgaans groter zijn dan de kosten. Belangrijke onzekerheden zijn naast het beleid van andere landen: het gewicht van toekomstige generaties (disconteringsvoet), de waarde van CO₂-reducties, de ontwikkeling van energieprijzen en de snelheid waarmee de kosten van schone technieken dalen.

Soorten baten en kosten

- Een belangrijke baat van energietransitie is de vermindering van CO₂-emissies. Daardoor daalt de Nederlandse bijdrage aan het broeikaseffect. De onderzochte varianten zijn zo ingevuld dat steeds in 2050 een reductie van 80% optreedt ten opzichte van 1990.
- Aan de batenkant is ook energiebesparing een belangrijk onderdeel. Energiebesparing verhoogt het beschikbaar inkomen van huishoudens en bedrijven. Dit vormt koopkracht die voor andere doeleinden kan worden ingezet waarmee een welvaartsverbetering tot stand komt.
- Een ander potentieel voordeel is voorzieningszekerheid. Naarmate Nederland minder energie verbruikt, hoeft er minder te worden geïmporteerd uit een beperkt aantal landen en regio's waar bovendien de politieke stabiliteit een risico vormt. Van prijschommelingen op de wereldmarkt kan Nederland zich echter niet afschermen. Zo kan de afhankelijkheid van import van biomassa toenemen. Bij de fossiele route blijft niet alleen de afhankelijkheid van buitenlandse kolen en gas groot, maar neemt ook de afhankelijkheid van uranium toe.
- Andere baten zijn dat extra bestedingsimpulsen optreden en dat de Nederlandse economie kennisintensiever wordt en de investeringen toenemen. Aangezien de arbeidsmarkt op lange termijn in evenwicht blijft, zijn er alleen op korte termijn extra banen via bestedingsimpulsen. Op lange termijn verschuift de werkgelegenheid naar andere sectoren en neemt de arbeidsproductiviteit toe waardoor de toegevoegde waarde stijgt. Dit leidt tot extra structurele groei. De bestedingsimpuls en het effect op de structurele groei leveren per saldo een bescheiden bijdrage aan de totale baten. In het projectalternatief 'fossiel' in het Blue Map scenario is het groei-effect negatief. Dit betekent dat is geïnvesteerd in kapitaal dat per saldo minder productief is dan het kapitaal waarvoor het in de plaats komt.
- Aan de kostenkant zien we de keerzijde van de besparingen. Energiebesparing is geen 'free lunch': er zijn investeringen voor nodig, zoals zuinigere automotoren, isolatie in de gebouwde omgeving, WKK-installaties enzovoort.
- Verder spelen reguleringskosten en kosten van belastingheffing een rol. Energietransitie komt niet vanzelf tot stand. Regulering brengt welvaartsverlies met zich mee als het bedrijven en huishoudens dwingt tot het doen van uitgaven die ze anders niet hadden

gedaan, zoals investeren in energiebesparing; en de overheid maakt handhavingskosten. Het stimulerende beleid van de overheid vraagt ook om subsidies waarvoor belastingen moeten worden geheven. Dit heeft potentieel een versturende werking op de economie en daarmee een negatief welvaartseffect.

Tabel 1.1 Transitie naar een duurzame energiehuishouding rendabel*

| Nulscenario | Business-as-usual | | Blue Map | | |
|-----------------------------------------------------------|----------------------------|------------------|----------------------------|------------------|-----------------------|
| Startpositie | Geen internationaal beleid | | Veel internationaal beleid | | |
| | Vrije beleidsruimte | | Vrije beleidsruimte | | Kosten en baten |
| Beleidsalternatief Nederland | Fossiel | Hernieuwbaar | Fossiel | Hernieuwbaar | Internationaal beleid |
| BATEN | | | | | |
| <i>Directe effecten (energiemarket)</i> | | | | | |
| Energiebesparing | 189 | 189 | 42 | 42 | 155 |
| Voorzieningszekerheid | 0 à 11 | 0 à 10 | 0 à 3 | 0 à 4 | 8 |
| <i>Indirecte effecten (andere markten)</i> | | | | | |
| Bestedingsimpuls | 32 à 77 | 28 à 64 | 1 à 15 | 9 à 20 | 11 à 39 |
| Structurele groei | 2 à 7 | 4 | -3 à -2 | 2 | 2 |
| <i>Externe effecten</i> | | | | | |
| CO ₂ reductie tot 2050 | 183 | 175 | 13 | 15 | 144 |
| Reductie overige emissies | 66 | 61 | 12 | 18 | 50 |
| Totaal baten | 471 à 532 | 456 à 502 | 65 à 83 | 87 à 102 | 370 à 399 |
| KOSTEN | | | | | |
| Besparingsmaatregelen | 59 à 177 | 59 à 177 | 19 à 58 | 19 à 58 | 24 à 109 |
| Productie energiemix | 39 à 79 | 49 | 1 à 14 | 11 à 17 | 20 à 30 |
| Reguleringskosten | 33 à 65 | 33 à 65 | 42 à 83 | 42 à 83 | 14 à 40 |
| Kosten belastingheffing | 0 à 22 | 0 à 26 | 0 à 10 | 0 à 12 | 11 à 16 |
| Totaal kosten | 131 à 343 | 141 à 318 | 62 à 166 | 78 à 165 | 68 à 195 |
| SALDO (netto baten) | 188 à 340 | 185 à 315 | -83 à 3 | -63 à 9 | 204 à 301 |
| SOM netto baten nationaal en internationaal beleid | 188 à 340 | 185 à 315 | 121 à 304 | 141 à 310 | |

* Netto contante waarden, bedragen in miljarden euro, discontering 5,5% en 4% voor niet omkeerbare effecten

Bron: berekeningen SEO Economisch Onderzoek

Beperkingen

Deze studie brengt de kosten en baten van een duurzame energiehuishouding op hoofdlijnen in kaart. Daarbij is een groot aantal aspecten niet in detail ingevuld. Voorbeelden zijn de exacte

vormgeving van het nationale en internationale beleid, de import en export van energie en het tijdpatroon van kosten en baten na een investering. De nadruk ligt op het in kaart brengen van de orde van grootte van de totale kosten en baten van een duurzame energiehuishouding. Het precies invullen van alle onderdelen zou een veel uitvoeriger onderzoek vereisen.

1.4 Wat zijn de economische kansen voor Nederland?

De economische kansen voor energietransitie houden verband met de belangrijke rol van energie in het economische leven. Energie is het product van een omvangrijke economische sector binnen de landsgrenzen met in 2007 een netto omzet van € 67,2 miljard en een werkgelegenheid van gemiddeld 34.200 FTE.⁵ Daarnaast voorziet de consumptie van energie in een eerste levensbehoefte en vormt het een belangrijke productiefactor voor een belangrijk deel van het bedrijfsleven. Jaarlijks bedraagt de energierekening van de Nederlandse bedrijven gezamenlijk ongeveer € 30 miljard (cijfer voor 2007). Iedere euro besparing op dit bedrag zou een directe baat betekenen en kansen voor omzet- en productiegroei.⁶

Kortetermijneffect: Bestedingsimpuls...

Dit onderzoek onderscheidt bij de analyse van de economische kansen van energietransitie kortetermijn- en langetermijneffecten. Bij de kortetermijneffecten staat centraal dat de investeringen in energietransitie extra omzet en werkgelegenheid genereren bij de direct betrokken sectoren zoals de producenten van duurzame energie en de fabrikanten in de bedrijfskolom van windenergie, biomassa, zonne-energie enzovoort. De extra omzet voor deze sectoren zal uitstralen naar andere sectoren omdat toeleveranciers bijvoorbeeld ook profiteren en werknemers het eventuele extra loon zullen besteden of sparen. Het gevolg is een bestedingsimpuls die in de macro-economie bekend staat als de inkomensmultiplier. Dit onderzoek analyseert de bestedingsimpuls aan de hand van een multiplier die rekening houdt met weglekeffecten van de bestedingsimpuls als gevolg van belastingbetaling en extra import uit het buitenland. Hierdoor verdwijnt de extra koopkracht naar respectievelijk de schatkist en het buitenland. Het resultaat is een standaardwaarde van de multiplier die overeenkomt met de soortgelijke analyses door bijvoorbeeld het CPB. Hierbij is rekening gehouden met het tijdelijke karakter van een bestedingsimpuls. Op korte termijn genereert de impuls extra productie en werkgelegenheid maar op de langere termijn reageert de arbeidsmarkt met loonsverhogingen en resulteert slechts inflatie en dus een nominaal effect. De veronderstelling is dat deze aanpassing ongeveer 10 jaar duurt zodat het effect van de investering na deze periode is uitgewerkt. Ook dit is een standaardaanname uit de economische theorie.⁷

Figuur 1.2 geeft het effect van de bestedingsimpuls weer voor de vier projectalternatieven. Het effect hangt enerzijds samen met de omvang van de investering en anderzijds met de mogelijkheid de bestedingen om te zetten in binnenlandse productie en toegevoegde waarde. Zo heeft een investering in kernenergie een kleiner multipliereffect dan een investering in duurzame energie vanwege de locatie van de producenten van dit type centrales. Een kerncentrale moet in het buitenland worden besteld en waardoor de bestedingsimpuls voor een belangrijk deel weglekt

⁵ Het gaat hier om de SBI-categorieën delfstoffenwinning en energiebedrijven.

⁶ Alle gegevens: CBS Statline.

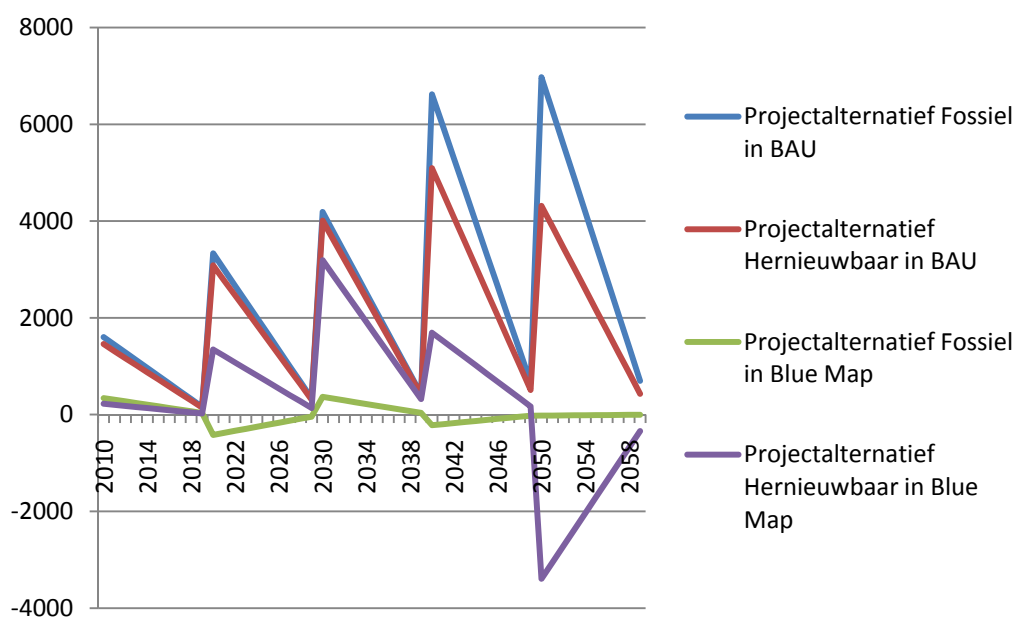
⁷ Zie bijvoorbeeld het onderzoek van De Nooij en Theeuwes (2004) waarin het belang van het weglekken van bestedingen naar het buitenland voor de kracht van de multiplier wordt benadrukt.

in de vorm van toegenomen import. Zoals de figuur laat zien, kan de bestedingsimpuls ook negatief uitpakken als de desinvesteringen (verdwijnen productiepark fossiele energie) de investeringen in hernieuwbare opties overtreffen. Dit gebeurt bijvoorbeeld in het Blue Map scenario. Per saldo ligt de netto contante waarde van de bestedingsimpuls tussen de € 1 en 77 miljard.

...en de voordelen van energiebesparing en voorzieningszekerheid

Naast het bestedingseffect is een direct effect van een duurzame energiehuishouding de lagere energierekening en de mogelijke versterking van de voorzieningszekerheid. De Nederlandse industrie produceert relatief energie-intensief waardoor er op macro-economisch niveau een relatie bestaat tussen energiekosten en de ruilvoet (zie CPB 2010, p. 41). Energiebesparing genereert als direct effect een versterking van de concurrentiepositie van het exporterende bedrijfsleven. Deze baat is in de KKBA als een statisch effect verwerkt. Dit betekent dat alleen rekening is gehouden met het voordeel van lagere energiekosten door energiebesparing, maar dat het mogelijke concurrentievoordeel buiten beschouwing is gebleven. Dit moet zich op langere termijn in een groeiend marktaandeel vertalen maar dit effect is met de beschikbare informatie niet te berekenen. De omvang van de baat die kan wordt toegerekend aan energiebesparing ligt tussen de €42 en €189 miljard.

Figuur 1.2 Omvang bestedingsimpuls in de tijd (bruto), in € miljoen per jaar, 2010-2060



Fossiele energiebronnen zoals aardgas en aardolie kennen een relatief volatiel prijsverloop dat voor binnenlandse partijen niet is te beïnvloeden, omdat de energiemarkten bij uitstek internationaal zijn. De economische kosten hiervan kennen twee componenten: marktmacht doordat buitenlandse producenten via collusie de marktprijs opdrijven en de economische schade die ontstaat door onverwachte fluctuaties in het energieaanbod en de energieprijzen. De omvang van deze kostenpost is gekwantificeerd en kan als baat worden toegeschreven aan de transitie naar een duurzame energiehuishouding. De waarde van deze baat ligt afhankelijk van het

omgevingsscenario tussen de € 3 en € 11 miljard. Overigens kan Nederland zich met eigen duurzame energiebronnen niet afschermen van internationale schaarste: als bijvoorbeeld de prijs van elektriciteit internationaal stijgt, zullen andere landen in Nederland elektriciteit kopen. Daarom is het onzeker of deze baat daadwerkelijk zal optreden.

Langetermijneffecten: productiviteit

Op de lange termijn gaan andere effecten een rol spelen. ECF (2010) legt de nadruk op de economische winst die ontstaat door de productiviteitseffecten van energietransitie. Dit effect kan plaatshebben via drie kanalen.

- *Investeren in kennis:* De technologie voor energietransitie moet voor een deel nog ontwikkeld worden. Dit vraagt investeringen in kennis en ontwikkeling met kansen voor innovatie. Innovatie vertaalt zich in een hogere toegevoegde waarde per gewerkt uur omdat technologische ontwikkeling effect heeft op de productiviteit van zowel fysiek kapitaal (machines) als menselijk kapitaal. Dit effect is de multifactorproductiviteit.
- *Groei van de kapitaalgoederenvoorraad.* Investeren in duurzame energie vraagt enorme investeringen in grondstoffen, centrales en energienetwerken. Voor een deel betreft dit vervanging van bestaand kapitaal, voor een ander deel gaat het om uitbreidingsinvesteringen die effect hebben op de arbeidsproductiviteit. Dit effect ontstaat als werknemers in de betrokken sectoren door de uitbreidingsinvesteringen in staat worden gesteld kapitaalintensiever en daarmee productiever te werken. In de macro-economie is groei van de arbeidsproductiviteit een van de hoofdmotoren van de economische groei. Dit effect is een structureel effect. Dat betekent dat er alleen een economische baat uit voortkomt als energietransitie de economie naar een hoger structureel groeipad duwt.
- *Aanpassing economische structuur.* Het proces van energietransitie kent winnaars en verliezers. De winnaars zijn de economische sectoren met nieuwe kansen voor omzet- en winstgroei. Dit zal bijvoorbeeld het geval zijn in de sectoren met een relatie tot de duurzame energiesector. Volgens onderzoek van het Innovatieplatform zijn de kansen voor groei het grootst in de deelmarkten offshore wind, biomassa, biobrandstoffen en biogas. Via spillover effecten kunnen sectoren als chemie, agro en voeding hier de vruchten van plukken. De verliezers van dit transitieproces zitten in de hoek van de fossiele brandstoffen zoals de delfstoffenwinning. Deze verschuiving in de economische structuur heeft een macro-economisch effect als de groeisectoren per saldo productiever zijn dan de krimpsectoren. Dit effect vertaalt zich ook in een groei van de arbeidsproductiviteit en daarmee van de economische groei.

Dit onderzoek berekent op basis van kengetallen de omvang van de productiviteitseffecten. Daarbij maakt de studie onderscheid tussen verschillende vormen kapitaal. Investerings in de elektriciteitsproductie hebben een ander effect op de arbeidsproductiviteit dan bijvoorbeeld investeringen in groene grondstoffen die bij een ander onderdeel van de energievraag aanhaken, namelijk de vraag naar energie als grondstof. Dit leidt tot een indeling in drie categorieën:

- Fysiek kapitaal nodig voor elektriciteitsproductie. Dit betreft de kapitaalinvesteringen in de elektriciteitsproducerende industrie, zowel hernieuwbaar als fossiel. Kapitaal bestaat uit centrales en distributie- en transportleidingen;
- Investerings in de productie van groene grondstoffen zoals de natte teelt van zeewier en microalgen;
- Overig fysiek kapitaal dat vooral energieregelend is zoals de productie van biogas.

De kapitaalinvesteringen in deze categorieën hebben effect op de toegevoegde waarde per gewerkt uur - dit is de definitie van de arbeidsproductiviteit – in zoverre de investeringen de gemiddelde werknemer in staat stellen meer te produceren per gewerkt uur tegen gemiddeld lagere kosten of hetzelfde productieniveau tegen gemiddeld genomen lagere kosten. Voor verschillende energieopties zal dit effect in eerste instantie niet optreden vanwege de onrendabele top die erop neerkomt dat de gemiddelde kostprijs stijgt in plaats van daalt. We veronderstellen echter dat de aanwezigheid van subsidieregelingen het voor ondernemers toch aantrekkelijk maakt om in de ontwikkeling van duurzame energie te investeren. Het verschil in kosten van de energieopties wordt op deze wijze geëgaliseerd waarna het effect van een kapitaalintensievere productiemethode via de gebruikelijke kanalen effect op de lange termijn economische groei zal hebben.

Dit effect is berekend door de kapitaalinvesteringen te vermenigvuldigen met de output elasticiteit. Deze elasticiteit geeft aan in welke mate extra kapitaal van invloed is op de groei van de productie. Zo berekenen Égert, Kozluk en Sutherland (2009) een productie-elasticiteit van 0,25 voor investeringen in elektriciteitsproductie voor Nederland. Dit betekent dat 1% groei in de kapitaalgoederenvoorraad in de elektriciteitsproductie leidt tot stijging van de productie in Nederland op lange termijn met een kwart van deze investering, maar dat is dan wel een structureel effect. Voor de investeringen in groene grondstoffen is de output elasticiteit met 0,18 lager. Voor het overig fysieke kapitaal is een gemiddelde elasticiteit van 0,2 verondersteld.

Investeren in energietransitie veroorzaakt verder groei van de voorraad kenniskapitaal. Dit is het resultaat van innovatie en r&d. Dit effect heeft gevolgen voor de mogelijkheden van zowel kapitaalgoederen als werknemers om per gewerkt uur toegevoegde waarde te genereren, de multifactorproductiviteit. Er is voor deze studie een schatting gemaakt van het aandeel r&d als percentage van de totale bedrijfsinvesteringen. Dit percentage is ongeveer 16%. De investeringen in r&d hebben ook een output elasticiteit die op basis van onderzoek 0,13 blijkt te zijn (Guellec en Van Pottelsberghe de la Potterie 2001). Dit betekent dat 1% stijging van de investeringen in r&d op de lange termijn de productie met 0,13% van dit investeringsbedrag laten stijgen. Naast het bedrijfsleven investeert ook de overheid in energie-r&d. We veronderstellen dat dit op basis van ‘matching’ gebeurt. De bijdrage uit publieke middelen in energie-r&d is evenredig aan de private investering. De output elasticiteit van publieke r&d ligt vanwege grotere spillover effecten met 0,17 hoger dan bij de private r&d.

De impact van het groei-effect blijkt desalniettemin beperkt. Tabel 1.1. laat zien dat het groei-effect voor de hernieuwbare projectalternatieven sterker is dan voor de fossiele alternatieven. Dit komt doordat de investering in hernieuwbare energieopties zoals windenergie en zonne-energie op de lange termijn een groter effect hebben op de groei van de arbeidsproductiviteit dan bij investeringen in CCS-opties. In Blue Map ontstaat een negatief groei-effect bij het projectalternatief Fossiel. Dit komt door de dominantie van investeringen in CCS-technologieën die vergeleken met investeringen in reguliere kolencentrales de arbeidsproductiviteit eerder verlagen dan verhogen.

1.5 Gevolgen voor beleid

De uitkomst van de KKBA heeft gevolgen voor de beleidsdiscussie rondom energietransitie. Het beleid in Nederland is sterk gericht op het zoeken van samenwerking om de transitie naar een duurzame energiehuishouding vorm te geven. Dit is een natuurlijke reactie gezien het aandeel van Nederland in de wereldwijde emissie van broeikasgassen. De oorzaak van het klimaatprobleem is mondiaal en dat betekent dat de oplossing van een brede coalitie moet komen en niet kan rusten op de schouders van een enkele partij zoals een individueel land (VROM raad/AER 2004; WRR 2006, pp. 213-223).

Een ‘alleingang’ heeft ook in economisch opzicht nadelen, omdat niet geprofiteerd kan worden van de kennis die elders wordt ontwikkeld. Schaafeffecten en leereffecten zullen kleiner zijn in een wereld waarin Nederland zonder internationale samenwerking ambitieuze stappen zet richting een klimaatneutrale energievoorziening. Dit komt tot uiting in de verschillen tussen de omgevingsscenario's. In het business-as-usual scenario besluit Nederland tot een zelfstandige koers. Dit leidt tot hoge kosten maar ook tot nog hogere baten. Deze uitkomst geeft aan dat een samenleving kan kiezen voor een eenzijdige aanpak van broeikasgasemissies als het bereid is de prijs voor dit beleid te betalen. In het Blue Map scenario wordt de aanpak bepaald door internationale samenwerking en is een nationale kop op de afspraken relatief makkelijker te realiseren zoals blijkt uit het saldo voor de projectalternatieven. Dit is ook de wereld waarin de wereldwijde markt voor duurzame energie tot bloei komt en waarin mogelijk nationaal economisch succes op deze markt kan worden geboekt. Het is zo gezien in dit scenario eenvoudiger om de kosten van energietransitie te compenseren met baten zoals grotere exportkansen en economische groei.

Een volgende boodschap voor het beleid betreft de onzekerheid van het transitieproces. Energietransitie betekent investeren onder onzekerheid omdat op voorhand niet duidelijk is welke transitiepaden de grootste welvaartswinst opleveren. Dit blijkt uit de bandbreedte van het saldo voor de projectalternatieven in beide scenario's en de conclusies van de robuustheidanalyse. Ook biedt de KKBA geen aanleiding een duidelijke voorkeur uit te spreken voor een van de beide projectalternatieven. Het fossiele projectalternatief kent net als het hernieuwbare projectalternatief hoge investeringskosten die worden gecompenseerd door baten. De belangrijkste baat is de reductie van broeikasgasemissies die in beide projectalternatieven qua omvang per definitie gelijk is. Dit verklaart mede waarom de verschillen tussen de alternatieven beperkt zijn.

Dit biedt voor het beleid dus weinig sturing bij het bepalen van de keuzes. Welke route uiteindelijk de voorkeur verdient is een politieke keuze. Beide routes vragen grote investeringen in kennis en kapitaal. Dit vraagt een slagvaardige aanpak van overheid en andere betrokken organisaties omdat anders de doelstellingen onderzocht in deze analyse niet gehaald zullen worden. Bij de beleidsmatige keuzes moet oog zijn voor het risico van padafhankelijkheid. De transitiepaden richting de projectalternatieven fossiel en hernieuwbaar kennen beide onzekerheid en zijn beide afhankelijk van nog te ontwikkelen technologie en kennis. De conclusies van dit onderzoek zijn getrokken op basis van de nu beschikbare kennis. Het is daarom van belang dat de overheid via toekomstig onderzoek een vinger aan de pols houdt om te waarborgen dat de ingeslagen weg de juiste is.

De onzekerheden verklaren ook waarom een rol voor de overheid bij de stimulering van energietransitie gevraagd is. Dit onderzoek laat zien dat investeren in een duurzame energiehuishouding uiteindelijk maatschappelijk en economisch rendabel is. Op dit moment is het investeringsklimaat voor duurzame energie door marktfalen nog onvoldoende ontwikkeld waardoor private investeerders te weinig middelen in transitie investeren. Dit blijkt uit de subsidies die nodig zijn voor de projectalternatieven. Op de lange termijn worden de meeste opties door schaafeffecten en technologische ontwikkeling wel rendabel waarna de markt het stokje volledig van de overheid kan overnemen. Voor de tussenliggende periode zijn publieke middelen nodig.⁸

Het subsidie-instrument is in deze studie het belangrijkste overheidsinstrument. Regulering en heffingen spelen op verschillende gebieden een rol zoals bij de kilometerbeprijzing. Normering kan echter een veel uitgebreidere rol spelen zoals is voorgesteld in de brede heroverweging Klimaat en Energie. Een van de varianten is om alle subsidies voor energiebesparing af te schaffen en een verplichting in te voeren voor gebouweigenaren en bedrijven om energiebesparende maatregelen te nemen. Dit zijn varianten die niet in de KKBA zijn opgenomen. De nadruk ligt op de kosten van de stimulerende subsidies die geschat worden op circa € 40 tot € 104 miljard. De alternatieven uit de brede heroverweging zijn ook niet zonder kosten, al zijn de kosten nu wegens gebrek aan informatie buiten de heroverweging gebleven waardoor de besparingen door het afschaffen van de subsidies op zijn minst een vertekend beeld geven.⁹ Voor een preciezer antwoord op de vraag wat dit voor het saldo van de KKBA betekent is een scherpere micro-economische analyse nodig van de besparingsopties als onderdeel van de transitieaanpak. Dit is een geschikt onderwerp voor vervolgonderzoek.

Wat betekent de KKBA voor de Transitieplatforms?

De KKBA levert op verschillende punten conclusies voor de Transitieplatforms (zie Box 1.1). De besparingsmogelijkheden en de wijziging van de energiemix zijn voor een belangrijk deel gebaseerd op de plannen van de Transitieplatforms. Voor een beleidsmatig oordeel over de gewenste richting van energietransitie en de investeringen die hiervoor nodig zijn, is informatie nodig over investeringskosten. Voor deze KKBA is uit verschillende bronnen een schatting gemaakt van de kosten. In sommige gevallen ontbreekt bij de platforms informatie over de kosten van de noodzakelijke investeringen waardoor het welvaartseffect van de plannen moeilijk is in te schatten.

⁸ Als het perspectief bestaat dat duurzame opties op langere termijn rendabel worden, zou afhankelijk van het rendement financiering via de kapitaalmarkt gerealiseerd kunnen worden. Dat dit niet of weinig gebeurt is mede afhankelijk van de onzekerheid rondom de technologieontwikkeling waar de financiers door kennisachterstand onvoldoende inzicht in hebben. Mogelijk werkt de kapitaalmarkt op dit punt niet goed. Dit is wellicht een vorm van marktfalen.

⁹ Het gaat om Variant 1-B van de Heroverweging: ‘normeren en reguleren in plaats van subsidiëren’. Bij de implementatie staat de kanttekening: “de kosten van implementatie en handhaving van verplichtingen voor energiebesparing in de gebouwde omgeving en bij bedrijven kunnen zeer hoog zijn. Hierover zijn geen cijfers beschikbaar.” (Brede Heroverweging Klimaat en Energie, p. 45).

Box 1.1 Publiek-private samenwerking ter bevordering van energietransitie

Investeren in een duurzame energiehuishouding is niet alleen een taak voor de overheid. Het betreft een opgave voor alle partijen in de samenleving: overheid, bedrijfsleven, kennisinstellingen en burgers. Vanuit deze gedachte zijn bij de vormgeving van het beleid voor energietransitie publiek-private samenwerkingsverbanden opgericht, de Transitieplatforms. Er zijn er zeven, op het terrein van Duurzame Elektriciteit, Nieuw Gas, Groene Grondstoffen, Duurzame Mobiliteit, Gebouwde Omgeving, Ketenefficiency en Kas als Energiebron. Taak van de platforms is het bundelen van kennis en het aanjagen van nieuwe ontwikkelingen. Doel is het vormgeven van Transitiepaden die aangeven hoe de beweging naar een duurzame energiehuishouding concreet gerealiseerd kan worden.

Een ander punt is de afstemming van de doelstellingen. De plannen van de transitieplatforms verschillen in looptijd en doelstelling. Het is belangrijk om afstemming te waarborgen. Op verschillende punten is voor de 80% doelstelling aanvullend beleid nodig. Dit geldt vooral voor beleid gericht op het terugdringen van het olieverbbruik. Dit blijkt in de uiteindelijke energiemix een factor te zijn die voor een aanzienlijk deel van de CO₂-emissie zorgt. De agenda van het Transitieplatform Duurzame Mobiliteit speelt via biobrandstoffen, elektrisch vervoer en dergelijke in op de brandstofvraag vanuit de transportsector. Het niet-energetisch verbruik van olie wordt deels door het Platform Groene Grondstoffen gedekt. Het effect van dit transitiepad kent grote onzekerheden die de vraag opwerpen of de transitieagenda voldoende in staat is om substantieel op het niet-energetische deel van het olieverbbruik te besparen. Uiteindelijk moet het totaal van de voornemens in lijn zijn met de overkoepelende doelstelling.

De analyse die nu is uitgevoerd is een maatschappelijke kosten-batenanalyse op basis van kengetallen. De conclusies van de analyse wijzen op de noodzaak op verschillende punten dieper te graven waarvoor met modellen van de energiemarkt gewerkt moet worden. Dit geldt bijvoorbeeld voor de interactie in het systeem tussen de verschillende opties voor duurzame energie en mogelijke conflicten in de doelstelling om zowel energiebesparing te realiseren als het aandeel duurzame energie in de energiemix te verhogen.¹⁰ Een volgende stap voor het Regieorgaan zou kunnen zijn om een integrale maatschappelijke kosten- en batenanalyse op basis van modelstudies uit te laten voeren, bijvoorkeur door de Planbureaus CPB en PBL.

1.6 Onzekerheden in het toekomstbeeld

De grootste onzekerheden in het geschetste beeld van de kosten en baten van overheidsbeleid gericht op energietransitie zijn, in volgorde van belangrijkheid (impact op de resultaten):

- *De mate waarin toekomstige generaties worden meegenomen.* Een traditionele, hoge disconteringsvoet leidt tot een lichte weging van kosten en baten na 2030. Duurzame discontering, waarin toekomstige generaties even belangrijk zijn als de huidige generatie, levert zowel bij de kosten als bij de baten een ongeveer drie keer zo hoge uitkomst op. Bovendien wordt de baten-

¹⁰ Het probleem is dat vollastinstallaties met lage marginale kosten zoals windenergie gasgestookte installaties die nodig zijn voor de besparingsdoelstelling (WKK) uit de merit order drukken. Zie: AER (2008).

/kostenverhouding dan groter, omdat bij investeringen de kost voor de baat uitgaat.¹¹ De verdeling van welvaart is bij uitstek een politieke kwestie, ook als het om verdeling tussen generaties gaat. Daarom is het aan de politiek om deze weging te bepalen.

- *De internationale omgeving.* Als internationaal een intensief energie- en CO₂-beleid wordt gevoerd, met onder andere emissiehandel voor alle landen en alle sectoren, dalen de kosten van additionele maatregelen voor energietransitie in Nederland met circa 25 tot 50%. Als de kosten van het internationale beleid voor Nederland worden meegenomen in de berekening, zijn de totale kosten voor Nederland nog steeds lager dan bij een “alleingang”
- *De waardering van de CO₂-emissies.* In de berekeningen is uitgegaan van de huidige bereidheid van de Nederlandse overheid om kosten te maken voor CO₂ reductie en van een stijging van deze waardering in de tijd. Als deze waardering wordt gehalveerd, dalen de totale baten in BAU met circa een kwart. De energietransitie blijft dan rendabel in het business-as-usual omgevingsscenario. In het Blue Map scenario gelden veel lagere prijzen voor CO₂ omdat de marginale baten en kosten van emissiereductie in dit scenario anders zijn dan in BAU. Op deze veel lagere waardering van CO₂ in Blue Map is geen robuustheidanalyse toegepast.
- *De mate waarin de kosten van duurzame investeringen dalen (via ‘leercurven’).* Als deze daling de helft zou zijn van de waarden die in de KKBA zijn meegenomen, worden de kosten voor het implementeren van de duurzame energietechnologieën zoals zonne-energie hoger. Het uiteindelijke effect van andere leercurven op het saldo van de KKBA wordt gedempt doordat verschillende posten aan de batenkant positief gecorreleerd zijn met de productiekosten. Dit geldt vooral voor de bestedingsimpuls. Ook is het leereffect niet in gelijke mate van toepassing op alle energietechnologieën waardoor de totale kosten van de energiemix maar voor een deel beïnvloed worden. Het effect is vooral voelbaar in de projectalternatieven met hernieuwbare energie. Hier kunnen de productiekosten met circa 50% oplopen bij halvering van het leereffect.
- *De ontwikkeling van de brandstofprijzen.* De scenario’s voorzien een stijging van de olieprijs naar \$ 121 per vat in 2050 (BAU) respectievelijk \$ 70 per vat (Blue Map).¹² IEA heeft berekend dat de voorraden wereldwijd voldoende zijn om de voorziene stijging van de energievraag naar olie te bedienen. Dit is een theoretisch potentieel. Of dit potentieel uiteindelijk in productie komt hangt van onzekere factoren af, zoals de investeringen in de oliesector. IEA ziet dit als het belangrijkste knelpunt. Blijven de investeringen in de oliesector achter bij de verwachting, dan zullen de olieprijsen door schaarste verder stijgen. De olieprijsen in de scenario’s gelden voor de lange termijn en zijn gebaseerd op de verwachte stijging van de kostprijs in de olieproductie. Een hogere olieprijs dan voorzien in de scenario’s heeft verschillende effecten:
 - De baat van energiebesparing neemt toe; besparen loont nu nog meer. Dit effect werkt positief door op het maatschappelijk saldo;
 - Fossiele energie prijst zich uit de markt; het marktaandeel van hernieuwbare energie zal stijgen. Of dit daadwerkelijk gebeurt hangt van verschillende factoren. Een daarvan is de hefboom tussen de gasprijs en de kolenprijs die bepaalt in hoeverre kolenvermogen aan marktaandeel kan winnen bij een stijging van de olieprijs. Zo veronderstelt het WLO-scenario Global Economy dat een stijging van de olieprijs geen enkel effect heeft op het duurzame vermogen. Het enige gevolg is een toename van het kolenvermogen. Een tweede factor is de hefboom tussen kolen en hernieuwbare energie. Prijsdruk op kolen kan

¹¹ Dit effect komt in de “duurzame discontering” variant niet volledig naar voren omdat met kengetallen is gewerkt waarin kosten en baten deels zijn samengevoegd.

¹² Dit zijn beide reële prijzen (dus gecorrigeerd voor inflatie). De nominale prijzen liggen veel hoger.

er uiteindelijk toe leiden dat ook de concurrentiepositie van hernieuwbare opties verbetert waarmee duurzame investeringen een boost krijgen. Dit effect is helaas lastig te berekenen bij gebrek aan gegevens over prijselasticiteiten.

2 Opzet KKBA

2.1 Wat kunnen we van een KKBA verwachten?

Maatschappelijke kosten-batenanalyse (MKBA) gaat na of de voordelen van overheidsingrijpen opwegen tegen de nadelen. Overheidsingrijpen is gericht op het oplossen van problemen, maar als het ingrijpen erg duur of weinig effectief is, kan het middel erger zijn dan de kwaal. De toepassing van MKBA heeft in Nederland een hoge vlucht genomen. Sinds 2000 worden infrastructuurprojecten volgens vaste richtlijnen met een MKBA onderzocht. Ook op andere beleidsterreinen worden vaak kosten-batenanalyses uitgevoerd.

Een MKBA is een systematische methode om de kosten en baten van overheidsbeleid voor de samenleving in kaart te brengen. Als bij uitvoering van een beleidsmaatregel de totale baten voor de maatschappij groter zijn dan de totale kosten, is het resultaat dat de samenleving als geheel erop vooruitgaat. Door alle kosten van de baten af te trekken, wordt een baten-/kostensaldo verkregen. Een positief saldo duidt op een project dat de welvaart verhoogt. Een negatief saldo duidt op een project dat de welvaart verlaagt. Ook is het gebruikelijk om de baten te delen door de kosten: de baten-/kostenverhouding. Een verhouding groter dan 1 duidt dan op welvaartswinst.

In de praktijk leiden maatregelen voor sommigen tot baten en voor anderen tot kosten. Zo kunnen bepaalde effecten op nationale schaal niet relevant zijn, maar wel voor bepaalde regio's of bepaalde groepen in de samenleving: de zogenoemde verdelingseffecten. De MKBA moet deze verdelingseffecten zichtbaar maken, ook al gebeurt dit in de praktijk mondjesmaat. De weging van verdelingseffecten is een politieke beslissing.

Een MKBA drukt alle aspecten waaraan mensen waarde hechten (voor zover mogelijk) in geld uit en telt deze op. Dat geldt ook voor zaken die meestal niet in geld worden gewaardeerd zoals CO₂-emissies of energievoorzieningszekerheid. Met andere woorden: de MKBA hanteert een breed welvaartsbegrip, waarin ook het milieu een bron van welvaart is. Verschillende effecten zoveel mogelijk onder één noemer brengen zodat ze vergelijkbaar worden, dat is de achterliggende gedachte. Ook de onzekerheden en risico's die met een project samenhangen inventariseert een MKBA. Meestal zijn er grote onzekerheden, zowel over de werking van het project zelf als over de omgeving waarin het project gaat functioneren. Door de onzekerheden weer te geven met marges (bandbreedtes), ontstaat een systematisch overzicht van alle kosten en baten.

Een MKBA vergelijkt twee toekomstbeelden: een toekomstbeeld met het overheidsbeleid (beleidsalternatief of projectalternatief) en een toekomstbeeld zonder het overheidsbeleid (nulalternatief). De verschillen tussen deze beelden leiden tot kosten en baten. Stel: de CO₂-emissies groeien naar verwachting sterk, maar blijven met een intensief beleid stabiel. Dan leidt dit beleid tot baten, ook al zien mensen slechts dat de CO₂-emissies hetzelfde blijven. In een MKBA kunnen ook meerdere beleidsalternatieven met elkaar worden vergeleken zoals emissiehandel, regulering of subsidies. In dit rapport gebeurt dat met pakketten van maatregelen.

Door van elk pakket de kosten en baten in beeld te brengen, wordt duidelijk welk beleid het beste ‘scoort’.

Een maatschappelijke kosten-batenanalyse is verankerd in de economische wetenschap, in het bijzonder de welvaartseconomie, en wordt veelvuldig toegepast in de praktijk. Veel landen kennen leidraden voor de wijze waarop een KBA moet worden uitgevoerd. Ook Nederland kent een dergelijke leidraad: de Leidraad Overzicht Effecten Infrastructuur (OEI)¹³. De methode is breed toepasbaar op projecten op uiteenlopende beleidsterreinen en kan bijdragen aan een verzakelijking van het beleid.

In een MKBA is er naast de in geld uitgedrukte effecten ruimte om ook andere effecten mee te nemen. Dit zijn zaken die de nationale welvaart wel beïnvloeden, maar die moeilijk of niet in geld zijn uit te drukken: vraagtekens of PM-posten. Het kan daarbij bijvoorbeeld gaan om zaken die niet in geld kunnen worden uitgedrukt zoals unieke natuur, maar ook om zaken waaraan de opstellers van de KBA, veelal door tijdgebrek, niet toe zijn gekomen.

De MKBA is geen besliscriterium, maar een ondersteunend instrument. ‘De politiek’ maakt de afweging tussen het kosten-/batensaldo, de verdelingseffecten en andere, bijvoorbeeld electorale overwegingen. Daarbij hoeft niet conform de MKBA besloten te worden, maar de MKBA bevat wel belangrijke inhoudelijke informatie ten behoeve van een politiek besluit.

Nationaal versus internationaal beleid

De energietransitie vindt plaats in een internationale omgeving, maar richt zich primair op veranderingen in Nederland. Dit betekent dat in elk geval alle kosten en baten van een andere energiehuishouding¹⁴ voor Nederland in beeld moeten komen.

Daarbij is het de vraag hoe wordt omgegaan met de kosten en baten van effecten van internationaal beleid op de Nederlandse energievoorziening. Hierbij zijn twee benaderingen mogelijk:

- De eerste benadering benadrukt dat internationaal beleid voor de Nederlandse overheid een randvoorwaarde vormt; het is geen ‘beleidsknop’ waar Nederland aan kan ‘draaien’. Daarnaast hebben kosten-batenanalyses vooral zin als het gaat over keuzes die daadwerkelijk kunnen worden gemaakt. Daarom is het in KBA’s van Nederlands beleid gebruikelijk om buitenlands beleid mee te nemen als onderdeel van een omgevingsscenario, samen met factoren als internationale economische groei, technologieontwikkeling en sociaal-culturele veranderingen¹⁵. Dat impliceert dat het internationale beleid, binnen elk omgevingsscenario, identiek is in het nulalternatief en het beleidsalternatief. Deze alternatieven verschillen dan alleen in de mate waarin Nederland zelf extra beleid voert.
- Aan de andere kant kan worden gesteld dat energietransitie in Nederland ten dele door internationaal beleid en ten dele door nationaal beleid tot stand komt. Door alleen de

¹³ Eijgenraam, C.J.J., C.C. Koopmans, P.J.G. Tang & A.C.P. Verster, Evaluatie van infrastructuurprojecten; Leidraad voor kosten-batenanalyse, Sdu, Den Haag, 2000.

¹⁴ Daarbij gaat het niet alleen om de energiesector, maar om alle sectoren.

¹⁵ Dat betekent niet dat de internationale omgeving constant wordt verondersteld, want er wordt gewerkt met verschillende omgevingsscenario’s.

kosten en baten van nationaal beleid in kaart te brengen, ontstaat slechts een partieel beeld van de totale kosten van energietransitie voor Nederland.

Een soortgelijke, maar spiegelbeeldige discussie kan worden gevoerd over de baten van Nederlands beleid die in het buitenland neerslaan. Daarbij gaat het met name om CO₂ reductie en innovatie. Deze baten worden slechts ten dele door Nederland ‘gevoeld’, maar de bijbehorende kosten slaan volledig in Nederland neer. Dat geldt ook voor andere landen. Daardoor zijn de kosten voor elk land afzonderlijk, althans in de perceptie van veel landen, groter dan de baten. Hierdoor ontstaat een *prisoner's dilemma*¹⁶. In de KKBA wordt een meer volledig beeld verkregen door niet alleen de baten voor Nederland, maar ook de baten voor andere landen in beeld te brengen.

Tegen deze achtergrond zou het voor de hand liggen om drie soorten kosten en baten in beeld te brengen:

1. kosten en baten van Nederlands beleid voor Nederland;
2. kosten en baten van buitenlands beleid voor Nederland;
3. kosten en baten van Nederlands beleid voor het buitenland.

Deze aanpak is echter zeer breed en tijdrovend. Een combinatie van meerdere scenario's, reductiepercentages, actoren, maatregelen, zichtjaren, gevoeligheidsanalyses etc. kan leiden tot een zeer groot tijdsbeslag en onoverzichtelijke resultaten. Daarom volgt dit rapport voor de internationale aspecten een pragmatische aanpak voor zoals weergegeven in Tabel 2.1. Daarbij worden de meest relevante aspecten in kaart gebracht, zonder dat er drie integrale KKBA's moeten worden gemaakt. De kern is een analyse van kosten en baten van Nederlands beleid voor Nederland. Aanvullend worden de baten beschreven van Nederlands beleid voor het buitenland, en de kosten van buitenlands beleid voor Nederland.

Tabel 2.1 Beleid en effecten: nationaal en internationaal:

| | Effect voor Nederland | Effect voor buitenland |
|-------------------------------|-----------------------------------|------------------------|
| Effect van Nederlands beleid | Integrale KKBA | Schets van de baten |
| Effect van buitenlands beleid | Schets van de kosten ^a | Niet onderzocht |

^a Op basis van verschillen tussen omgevingsscenario's.

¹⁶ Een uitzondering geldt voor effecten van Nederlandse emissies voor het buitenland, voor zover Nederland zich al heeft verbonden aan internationale verdragen. In dat geval worden de kosten immers (deels) in Nederland gedragen. Voor andere emissies, voor verdere aanscherpingen van CO₂-verdragen en voor innovaties blijft het prisoner's dilemma echter volledig aanwezig.

2.2 Toelichting analytisch kader

De basis voor de berekening van kosten en baten is de autonome ontwikkeling van de economie en de daaraan gerelateerde energievraag- en productie in twee scenario's: het BAU-scenario beschrijft een 'business-as-usual' situatie waarin de economie in de periode tot 2050 een hoge groei kent en waarin de wereld geen actief klimaatbeleid voert gericht op het terugdringen van CO₂-emissies. Dit scenario is ontleend aan het BAU-scenario van het IEA en kent een Nederlandse variant in het Global Economy scenario dat onderdeel is van de studie *Welvaart en Leefomgeving* (hierna: WLO) (2006) van de gezamenlijke planbureaus en ECN. Het tweede scenario is het IEA Blue Map scenario dat uitgaat van een redelijke economische groei op wereldschaal maar een ambitieuze klimaatdoelstelling kent waarin in 2050 de CO₂-emissies wereldwijd teruggebracht moeten zijn tot 50% van het 2007-niveau. De Westerse, geïndustrialiseerde wereld moet hier een meer dan evenredige bijdrage aan leveren en komt op ongeveer 70-80% reductie (IEA 2010). Een Nederlandse variant die hier op lijkt is het WLO-scenario Strong Europe.

De economische ontwikkeling conform de scenario's dicteert de condities waaronder de vraag naar en de productie van energie zich ontwikkelen. Zo groeit de energievraag in het BAU-scenario sneller dan in het Blue Map scenario door de hogere economische groei en de beperktere inzet van energiebesparing. Ook kennen de scenario's een ander verloop van de energieprijzen wat ook gevolgen heeft voor de energievraag en de energiemix. Datzelfde geldt voor de ontwikkeling van de CO₂-emissieprijs. Dit is de situatieschets voor het nulalternatief waarmee de projectalternatieven uiteindelijk worden vergeleken.

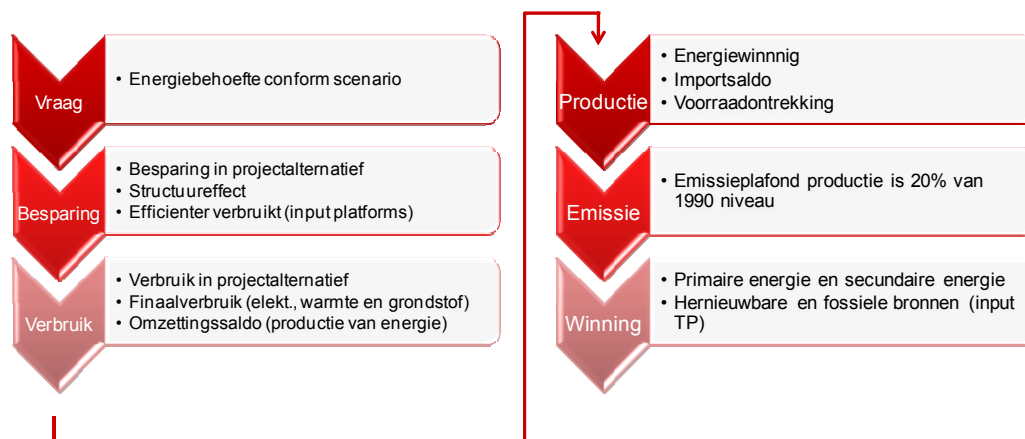
Om de vertaalslag te maken van scenario's naar projectalternatieven en projecteffecten volgt dit onderzoek de volgende aanpak. Het startpunt is de energiebehoefte zoals die volgt uit de scenario's (zie Figuur 2.1). Vervolgens wordt bij de invulling van de vraagzijde gekeken naar de mogelijkheden voor energiebesparing. Voor een deel komt energiebesparing tot stand doordat de economische structuur verandert met lager energieverbruik als autonome uitkomst. Voor een ander deel is energiebesparing het gevolg van toegenomen energie-efficiëntie als gevolg van beleid. De instrumentenmix die hiervoor is toegepast is ontleend aan de plannen en projecten van de Transitieplatforms. De opties worden in Hoofdstuk 3 toegelicht.

Het resultaat is het energieverbruik dat conform de CBS-definitie bestaat uit finaal verbruik voor de consumptie van warmte, elektriciteit en voor het verbruik van energie als grondstof. Daarnaast kent energieverbruik een omzettingssaldo dat aangeeft hoeveel energie er verdwijnt bij de productie van secundaire energie (meestal elektriciteit) uit primaire energiebronnen zoals olie en gas.

Het energieverbruik kent als tegenhanger de energieproductie waarmee het evenwicht tussen energievraag en -aanbod gewaarborgd blijft. De productie van energie valt op de CBS-energiebalans uiteen in drie categorieën: winning, voorraadonttrekking en het importsaldo. De nadruk in deze studie ligt vooral op de winning als een door Nederlands beleid te sturen grootheid. Dit heeft alles te maken met de volgende stap in het proces: de productiemix moet zo worden samengesteld dat de energieproductie qua omvang gelijk is aan het energieverbruik maar een samenstelling kent die qua uitstoot van broeikasgassen een reductie realiseert van 80% ten opzichte van het 1990-niveau. Dit is de doelstelling van de projectalternatieven.

Bij de winning wordt wederom gebruikgemaakt van de plannen en projecten van de transitieplatforms om de energiemix zo vorm te geven dat de reductiedoelstelling wordt gehaald. Daarbij is het onderscheid tussen fossiele bronnen en hernieuwbare bronnen van belang.

Figuur 2.1 Analytisch kader in onderstaande figuur



2.3 Bijdrage van de transitieplatforms

Figuur 2.1 geeft aan hoe de Transitieplatforms hebben bijgedragen aan de analyse. Met alle platforms zijn gesprekken gevoerd om het werkveld en de plannen van de platforms in kaart te brengen. De input is gebruikt om invulling te geven aan de besparingsplannen aan de vraagzijde. Hier is de vraag van belang hoeveel er op het energieverbruik bespaard wordt en met welke middelen dat gebeurt. Aan de productiezijde zijn is gebruikgemaakt van de plannen voor aanpassing van de energiemix. Via beide routes wordt in de projectalternatieven geprobeerd een pakket maatregelen samen te stellen dat in staat is 80% emissiereductie te bereiken. Dit gebeurt tegen de achtergrond van verschillende economische scenario's (BAU-scenario en Blue Map) wat tot verschillen in de aanpak leidt. De structurering van de instrumenten rondom de plannen van de platforms heeft als voordeel dat duidelijk wordt wat bereikt kan worden met het totale pakket en waar de eventuele witte vlekken zitten, zodat op basis van de KKBA conclusies kunnen worden getrokken over de plannen van de platforms.

2.4 Projecteffecten

In deze paragraaf wordt toegelicht welke effecten een rol spelen bij de berekening van kosten en baten van energietransitiemaatregelen. Daarbij wordt achtereenvolgens ingegaan op directe effecten, indirecte effecten, externe effecten, kosten en verdelingseffecten.

2.4.1 Directe effecten

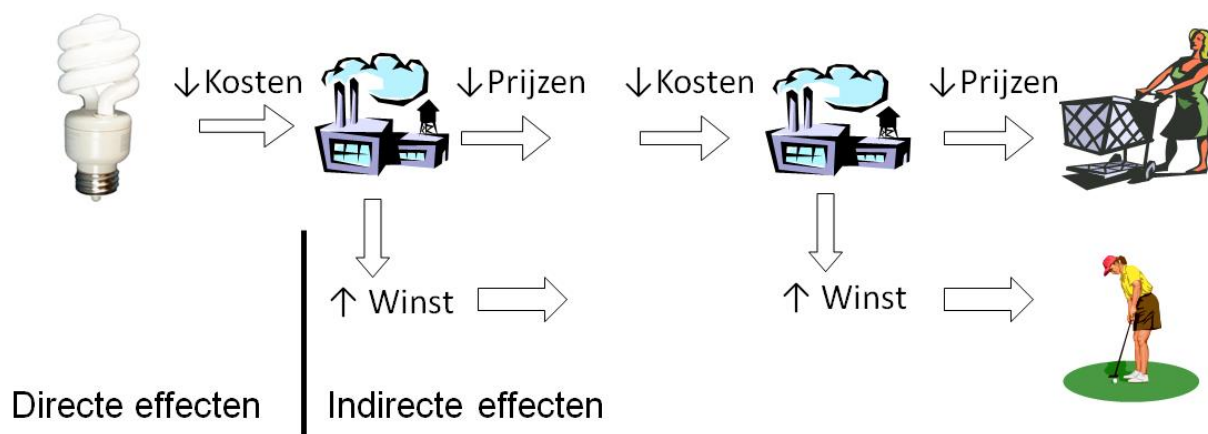
Directe effecten zijn in maatschappelijke kosten-batenanalyses de effecten op de markt waarop de maatregelen aangrijpen. Bij energietransitie is dat de energiemarkt. Energietransitiemaatregelen veranderen zowel de energievraag als op het energieaanbod. De baten treden daardoor deels aan de vraagzijde en deels aan de aanbodzijde op. Bij de energievraag gaat het met name om de baten van energiebesparing. De verlaging van het energiegebruik vertaalt zich direct in een kostenreductie, die in de KKBA als een baat wordt beschouwd. Het gaat hier om de 'bruto' baten; de kosten van de besparingsmaatregelen verschijnen elders in de KKBA. Bij het energieaanbod is voorzieningszekerheid een belangrijke baat. De baten hiervan laten zich minder gemakkelijk in geld uitdrukken, maar in de KKBA wordt dit toch gedaan door te kijken naar de vermindering van kosten van bestaande maatregelen om de voorzieningszekerheid te bevorderen, zoals het aanhouden van olievoorraden.

2.4.2 Indirecte effecten

Indirecte effecten ontstaan op andere markten dan de energiemarkt. Meestal gaat het om doorgegeven directe effecten.

Een voorbeeld: als bij bedrijven de kosten dalen door energiebesparing, is dat een direct effect. Zodra zij dit voordeel doorgeven aan afnemers in de vorm van lagere prijzen of aan hun aandeelhouders in de vorm van hogere winsten, verandert het directe effect 'energiekostenreductie' (op de energiemarkt) in de indirecte effecten 'lagere productprijzen' (op de productmarkt) en/of 'hogere winsten' (op de kapitaalmarkt). Lagere productprijzen komen ten goede aan andere bedrijven en/of consumenten. Deze samenhang wordt grafisch weergegeven in figuur 2.2.

Figuur 2.2 Doorgeven van directe effecten in de vorm van indirecte effecten



Bron: SEO Economisch Onderzoek

In sommige gevallen zijn indirecte effecten additioneel:

- Bestedingseffecten. Als de investeringen in energiebesparing leiden tot meer productie, daalt de werkloosheid. Op langere termijn zullen dan de lonen sterker stijgen, waardoor de werkloosheid weer oploopt naar het evenwichtsniveau (*natural rate of unemployment*). Tot het moment waarop het nieuwe evenwicht wordt bereikt zijn er extra baten.
- Effecten op de structurele groei. Energietransitie leidt tot een vergroting van de investeringen in kapitaalgoederen. Hierdoor wordt de Nederlandse economie kapitaalintensiever en neemt de arbeidsproductiviteit toe.

2.4.3 Externe effecten

Externe effecten zijn effecten die niet op een markt optreden, zoals CO₂-emissies. Uiteindelijk hebben deze effecten wel degelijk hun weerslag op markten, bijvoorbeeld als klimaatverandering leidt tot andere kosten van landbouwproducten. Kenmerkend voor externe effecten is dat de veroorzaker geen rekening houdt met dergelijke gevolgen. Zonder overheidsingrijpen is de prikkel om externe effecten te beperken onvoldoende.

De negatieve externe effecten van gebruik van fossiele energiebronnen zoals kolen, olie en aardgas worden door energietransitiemaatregelen flink gereduceerd. Vooral de CO₂-emissies lopen sterk terug, maar ook andere emissies dalen als het energiegebruik afneemt en als de energieopwekking schoner wordt.

Externe effecten zijn in een MKBA vaak lastig in geld uit te drukken. Gezien de centrale rol van emissiereductie in de energietransitie is het in de KKBA noodzakelijk om deze positieve effecten in geld uit te drukken. In de volgende paragraaf wordt toegelicht hoe de waardering van emissies is bepaald.

2.4.4 Kosten

Tegenover diverse positieve effecten van energietransitie staan de kosten die moeten worden gemaakt om de transitie te realiseren. Wat kosten en opbrengsten zijn, hangt af van het gekozen perspectief. Zo zijn subsidies kosten voor de overheid maar baten voor bedrijven. In de KKBA wordt uitgegaan van een maatschappelijk perspectief: het gaat om kosten en baten voor heel Nederland. Dit betekent dat overdrachten binnen Nederland niet als kosten en baten worden geteld. Voorbeelden van overdrachten zijn subsidies, belastingen en binnenlandse betalingen. In dit maatschappelijk perspectief worden alleen kosten meegeteld die ook een welvaartseffect vormen voor Nederland als geheel. In de KKBA gaat het om de volgende maatschappelijke kosten:

- Investeringskosten in energiebesparing en in een andere energievoorziening. Deze investeringen vormen uiteindelijk kosten voor aandeelhouders (winsten omlaag), klanten (prijzen omhoog) en/of belastingbetalers (meer subsidie).
- Reguleringkosten. De overheid maakt kosten om het transitiebeleid uit te voeren. Deze kosten worden uiteindelijk gedragen door belastingbetalers.
- Kosten van belastingheffing. Hogere belastingen leiden tot welvaartsverlagend gedrag. Zo stimuleren hoge belastingen op arbeid mensen om minder uren te werken.

2.4.5 Verdelingseffecten

De kosten en baten van energietransitie verdelen zich over burgers en bedrijven, afhankelijk van de wijze waarop het beleid vorm krijgt. Een ongelijke verdeling kan ernstige gevolgen hebben. Zo kan het neerleggen van hoge kosten bij energie-intensieve bedrijven leiden tot een slechtere concurrentiepositie en op termijn tot verplaatsing van productie naar andere landen. Hoge kosten voor groepen burgers kunnen leiden tot verlies aan draagvlak voor de energietransitie, met name als mensen met lage inkomens erop achteruit zouden gaan. In deze KKBA veronderstellen we dat eventuele kostenstijgingen voor bedrijven (netto, rekening houdend met de baten van energiebesparing) worden gesubsidieerd. Een en ander wordt gefinancierd met een generieke belastingverhoging die niet sterk op lage inkomens drukt. Overigens geeft de KKBA geen integraal beeld van de verdelingseffecten want daarvoor is de kengetallenbenadering bij een breed pakket van schetsmatig ingevulde maatregelen niet goed geschikt. Een integrale MKBA van afzonderlijke, concreet uitgewerkte energietransitiemaatregelen is beter geschikt om verdelingseffecten te bepalen.

3 De invulling van nul- en projectalternatieven

3.1 Scenario's: rekening houden met onzekerheid

Energietransitie is een ontwikkeling voor de lange termijn. Deze studie bekijkt de ontwikkeling over de periode 2010-2050. Over deze lange periode zijn kerngegevens zoals economische groei, technologische ontwikkelingen en energieprijzen nooit met zekerheid te voorspellen. Het is daarom gebruikelijk om de economische analyse van energietransitie te baseren op scenario's van mogelijke toekomstige ontwikkelingen. De scenario's vormen geen voorspelling maar schetsen een beeld van de toekomst aan de hand van een verzameling consistente veronderstellingen. De consistentie van de veronderstellingen moet garanderen dat het beeld van de toekomst in zekere zin 'klopt'. Belangrijk is dat via een scenario de invloed van onzekere factoren zoals energieprijzen geïsoleerd kan worden. Via bandbreedtes in de onzekerheid ontstaat een beeld van de toekomst dat op grond van de huidige informatie plausibel is.

Het startpunt voor deze KKBA is het 'Business as usual' (BAU)- scenario dat ontleend is aan het werk van de IEA voor de *World Energy Outlook* en de *Energy Technology Perspectives*. Kern van dit scenario is de vraag hoe de economie zich ontwikkelt bij voortzetting van het huidige beleid. Het illustreert de gevolgen van "inactiviteit" en vormt een referentiepunt voor de analyse van beleid om de huidige trend van stijgend energieverbruik en groeiende broeikasgasemissies om te buigen. In het BAU-scenario groeit de wereldeconomie met gemiddeld 3,3% per jaar tussen nu en 2050. Dit tempo vlakt na 2030 iets af doordat de bevolkingsgroei vanaf dat moment vermindert. Nederland behoort als geïndustrialiseerd land niet tot de snelle groeiers van de wereldeconomie. Bij de doorvertaling van het BAU-scenario naar Nederland is de veronderstelling dat de groei in ons land voor de periode tot 2050 jaarlijks 2,6% is. Wereldwijd veroorzaakt de economische groei een verdubbeling van de CO₂-emissie in 2050. Dit is mogelijk doordat het scenario geen prikkels bevat om het gebruik van fossiele energie terug te dringen. Waar besparing plaatsvindt wordt dit effect meer dan tenietgedaan door de sterke groei van de energievraag. Deze groei legt een stevige druk op de energieproductie. Vooral olieproducenten worden gedwongen de minder productieve en duurder te exploiteren velden in bedrijf te nemen. Het gevolg is een stijging van de olieprijs tot \$121 in 2050 (in 2010 prijzen). Door de koppeling met de olieprijs stijgt de prijs van aardgas overeenkomstig.

Blue Map is het IEA-scenario dat de situatie schetst waarin het energieverbruik en de uitstoot van broeikasgassen sterk wordt gereduceerd. IPCC (2007) berekent dat reducties in de orde van grootte van 50% tot 80% in 2050 nodig zijn om de wereldwijde temperatuurstijging te beperken tot 2 à 2,4 graden Celsius. Blue Map heeft als doel om aan deze eis te voldoen onder macro-economische condities die gelijk zijn aan het BAU-scenario. De wereldeconomie groeit in Blue Map dus ook met 3,3% per jaar. De ombuiging in de emissies wordt gerealiseerd door energiebesparing en veranderingen in de energiemix. Dit kan alleen op basis van technologieën die vandaag nog niet ontwikkeld zijn. Kennisontwikkeling en innovatie is dus een belangrijk onderdeel van Blue Map. Welk beleid hiervoor nodig is wordt in Blue Map niet ingevuld. Dat

beleid nodig is blijkt uit de kosten van de opties voor emissiereductie. Blue Map gebruikt voor het behalen van de emissiedoelstelling opties die tot \$175 per ton vermeden CO₂ kosten. Reducties vinden plaats in alle onderdelen van de energiesector: energiebesparing bij eindverbruikers (36%), toepassing van CCS bij elektriciteitsproductie (11%), kernenergie (7%), hernieuwbare energie (18%). Fossiele energie blijft ook in Blue Map een belangrijke rol spelen. Wel vermindert de vraag naar fossiele energie in 2050 met 25% ten opzichte van vandaag (en 57% ten opzichte van het BAU-scenario). Dit heeft gevolgen voor de olieprijs die in Blue Map op \$ 70 per vat blijft steken.

Voor het BAU-scenario is door de IEA een doorvertaling gemaakt voor Nederland (IEA 2008b). Voor Blue Map bestaat zo'n analyse niet en is voor de KKBA een aanpassing gemaakt van het WLO-Strong Europe scenario dat sterk lijkt op Blue Map. Een belangrijk verschil met Blue Map is de macro-economische ontwikkeling. Strong Europe veronderstelt een matige economische groei van 1,6% voor Nederland waar de groei volgens Blue Map gelijk is aan het BAU-scenario. Ook is in Strong Europe gerekend met een lagere olieprijs van \$25 per vat. Dit is voor de KKBA gecorrigeerd om aan te sluiten bij de olieprijs van Blue Map. Tabel 3.1 vat de economische veronderstellingen van de scenario's samen.

Tabel 3.1 Samenvatting kerngegevens scenario's BAU en Blue Map*

| | BAU | | | Blue Map | | |
|---------------------------|---------|---------|--------|----------|---------|--------|
| | 2010 | 2030 | 2050 | 2010 | 2030 | 2050 |
| Economische groei wereld | 3,3% | 3,3% | 3,3% | 3,3% | 3,3% | 3,3% |
| Economische groei NL | 2,6% | 2,6% | 2,6% | 1,6% | 1,6% | 1,6% |
| Olieprijs (per vat) | \$ 85 | \$ 115 | \$ 121 | \$85 | \$90 | \$70 |
| Gasprijs (MBtu) | \$ 10,0 | \$ 13,6 | \$13,9 | \$10,0 | \$ 9,5 | \$ 8,3 |
| Kolenprijs (ton) | \$ 63 | \$61 | \$61 | \$63 | \$ 42,7 | \$ 31 |
| ETS prijs CO ₂ | € 15 | € 0 | € 0 | € 15 | € 58 | € 121 |

Bron: IEA (2008), p. 537 en IEA (2010).

* Alle energieprijzen zijn in reële termen. Dit betekent dat de daadwerkelijke, nominale prijs door de invloed van inflatie veel hoger ligt.

3.2 De invulling van de nulalternatieven in BAU en Blue Map

Inzet beleid in de nulalternatieven

De basis voor het uitvoeren van de KKBA is de vergelijking tussen een nulalternatief en een projectalternatief. Het projectalternatief bevat het pakket maatregelen dat gericht is op de ambitieuze doelstelling om in 2050 80% reductie van de uitstoot van de broeikasgassen te bereiken. Het nulalternatief is het referentiepunt voor de beoordeling van de effecten van dit programma. Voor het nulalternatief moeten echter ook veronderstellingen worden gemaakt. Zo ziet het nulalternatief in het BAU-scenario er anders uit dan in Blue Map. BAU is het scenario met hoge economische groei en de afwezigheid van internationale samenwerking voor

verduurzaming van de samenleving. Dit weerspiegelt zich in het nulalternatief waarin in BAU geen maatregelen worden genomen om energietransitie actief te stimuleren; waar dit beleid al is ingezet wordt het afgebouwd.

In het Blue Map scenario ligt dit anders. De veronderstelling ‘geen nieuw beleid’ betekent in dit scenario toch een flinke inspanning gericht op reductie van broeikasgasemissies omdat dit onderdeel is van de internationale samenwerking die in Blue Map is verondersteld. Dit levert voor Nederland al 50% reductie van de CO₂-emissie en die prestatie komt naar voren in de veronderstellingen onder het nulalternatief. Er is immers beleid nodig om dit doel te bereiken (zie Tabel 3.2).

Tabel 3.2 Overzicht van verondersteld beleid in de nulalternatieven

| Nulalternatief | Blue Map/Strong Europe | BAU-scenario |
|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Emissiehandel | ETS: €15/ton in 2010 ETS tot 2020. Daarna oplopend naar €121/ton in afgeschaft. 2050 | |
| Energiebelasting | Bij voor niet-deelnemers ETS Tarieven constant vanaf 2010 minimaal gelijk aan tarieven deelnemers plus CO ₂ -prijs. Bij elektriciteit tarieven constant. | |
| Gebouwde omgeving | Voor nieuwbouw EPC naar 0 Na 2020 geen regels meer voor in 2020 | EPC |
| Elektrische apparaten | Aanscherping energielabels conform Europese normen | Geen aanscherping en na 2020 geen labels |
| Industrie | Energie-investeringsaftrek blijft gehandhaafd. | Na 2020 afschaffing EIA. |
| SDE | Voortzetting huidig beleid. Na 2020 vervalt SDE. Tarieven dalen door dalende kosten van duurzame energie | |
| Kernenergie | Na 2033 geen vergunning voor nieuwe centrales | Bouw van nieuwe centrales blijft mogelijk. |

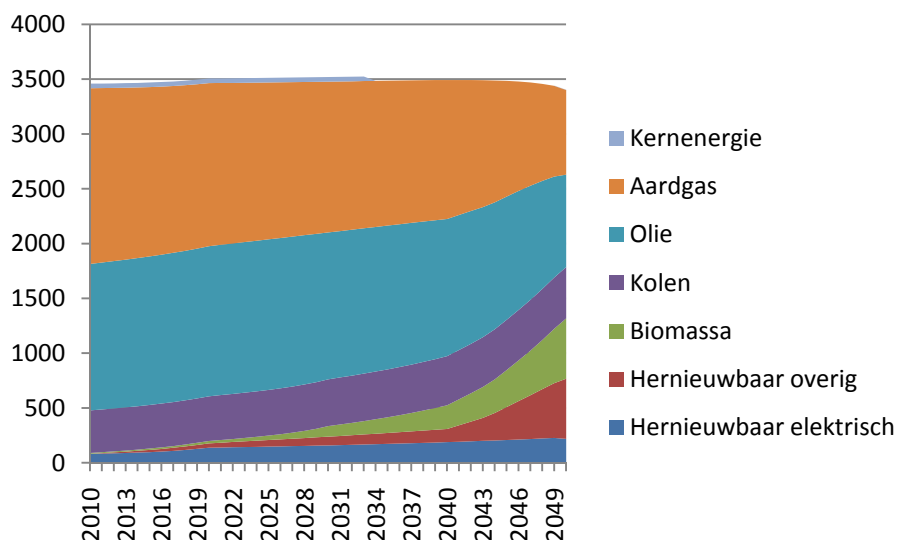
Effect van beleid op het gebruik primaire energiebronnen in Blue Map

De combinatie van beleid en economisch ontwikkeling bepaalt de groei van de energievraag en de energieproductie in het nulalternatief. Dit laat zich aflezen aan de veranderingen in de energiemix. Figuur 3.1 toont de verandering in de energiemix in het nulalternatief van het Blue Map scenario. In Blue Map wordt uitgegaan van een effectieve internationale inspanning om de uitstoot van broeikasgassen te verminderen. Dit gebeurt met de inzet van een breed palet aan opties. Energiebesparing is met ongeveer 1,5% per jaar een belangrijke motor achter de reductie-inspanning. Daarmee wordt de groei van de energievraag grosso modo gecompenseerd waardoor het totale verbruik constant blijft.

Bij de veranderingen in de productiestructuur is in het Blue Map scenario in het nulalternatief uitgegaan van een flinke inzet van CCS bij kolen en gas verbruik. Daarnaast spelen ook positieve aannames over technologische ontwikkelingen een rol waardoor het aandeel hernieuwbaar in 2050 toeneemt. Door de prijsstijgingen van de fossiele energiebronnen in combinatie met de technologische ontwikkeling die hernieuwbare opties na 2030 aantrekkelijker maken, daalt het marktaandeel van de fossiele energiedragers. Ze blijven echter een belangrijke rol spelen in dit nulalternatief. Kernenergie verdwijnt in het nulalternatief met de sluiting van Borssele in 2033. Resultaat van de verandering in de energiemix is een daling van de totale CO₂-uitstoot met 50% over de periode 2010 tot 2050 (ten opzichte van 1990).

De projectalternatieven in Blue Map staan voor de uitdaging om dit percentage uitstoot verder te reduceren tot maximaal 20% van het 1990-niveau. Om dit bereiken zijn stevige maatregelen en investeringen nodig die verderop worden toegelicht.

Figuur 3.1 Blue Mapscenario: Gebruik primaire energiedragers, 2010-2050 (productie in PJ)



Bron: SEO

Ontwikkeling gebruik primaire energiebronnen in BAU-scenario

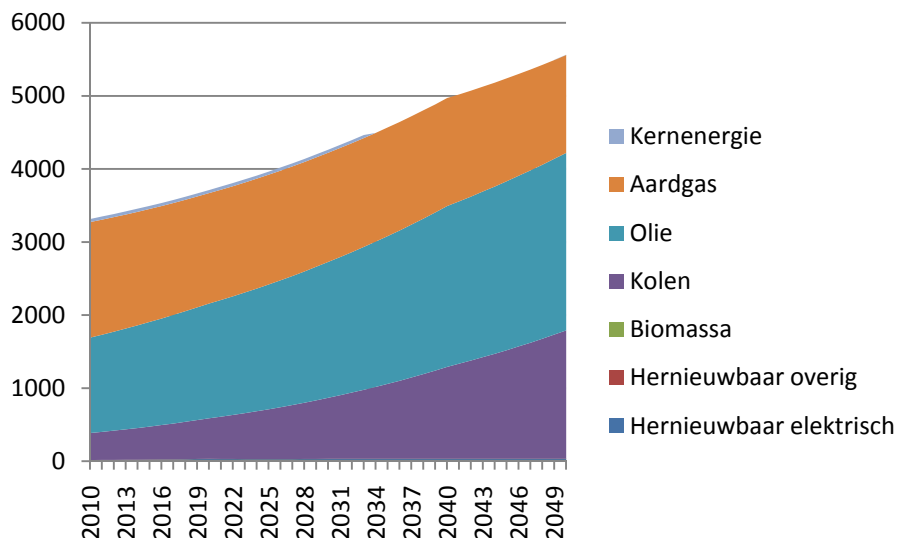
Kenmerk van het 'business as usual' scenario (BAU) is letterlijk dat verduurzaming van de samenleving niet actief wordt bevorderd. Het gevolg is dat het energiegebruik stevig zal doorgroeien, zoals Figuur 3.2 laat zien. Vooral het gebruik van olie voor transportdoeleinden en als grondstof in de industrie blijft sterk doorgroeien. De prijs van de fossiele brandstoffen neemt in dit scenario toe, maar deze toename is onvoldoende om het gebruik af te remmen en de ontwikkeling van alternatieven zoals hernieuwbare energie in gang te zetten. Dit is het gevolg van twee ontwikkelingen die in het scenario zijn verondersteld:

- De prijs van kolen blijft relatief laag. Het marktaandeel van kolen als primaire energiebron neemt daarom toe ten nadele van het aandeel van aardgas dat qua prijs meestijgt met de olieprijs. Maar het kolenvermogen concurreert ook hernieuwbare alternatieven uit de markt.

- De concurrentiestrijd tussen fossiele en hernieuwbare bronnen valt verder in het voordeel uit van fossiel doordat er geen technologische ontwikkeling is verondersteld, die de ontwikkeling van duurzame technologieën op de lange termijn concurrerender kan maken.

Het gevolg van deze twee oorzaken is dat bij afwezigheid van beleid ter stimulering van energiebesparing en duurzame energie ontwikkeling in dit scenario geen schijn van kans heeft. De CO₂-emissie verdubbelt tot bijna 400 Mton in 2050.

Figuur 3.2 BAU-scenario: Gebruik primaire energiebronnen, 2010-2050 (productie in PJ)



Bron: SEO

3.3 De invulling van de projectalternatieven

3.3.1 Indeling van de projectalternatieven

De projectalternatieven hebben als gemeenschappelijk doel om de uitstoot van CO₂ in 2050 met 80% te verminderen waarbij 1990 het referentiejaar is. Voor ieder scenario onderscheiden we een projectalternatief 'fossiel' en een projectalternatief 'hernieuwbaar'. De naam van het projectalternatief geeft aan dat de nadruk in de energiemix ligt bij fossiele bronnen of hernieuwbare bronnen. Dit onderscheid is relatief omdat de 80%-doelstelling alleen gehaald kan worden bij inzet van een breed palet aan maatregelen. In het projectalternatief fossiel groeit het aandeel hernieuwbare energie dus ook ten opzichte van het nulalternatief. De nadruk ligt echter bij de inzet van fossiele bronnen waarbij kernenergie en CCS-toepassing bij kolengestookte elektriciteitscentrales en gascentrales de belangrijkste bronnen vormen.

Het belangrijkste verschil tussen de projectalternatieven in de scenario's is de mate waarin Nederlands beleid autonoom doelstellingen op het terrein van energietransitie nastreeft. Dit vindt zijn weerklink in de twee sporen in de beleidsanalyse van VROM-raad/AER (2004) waarin een onderscheid is gemaakt tussen een versterkte internationale aanpak van energietransitie en een actieve nationale aanpak. In alle projectalternatieven staat het nationale beleid centraal, maar onder het Blue Map scenario is in het nulalternatief al verondersteld dat de internationale

samenwerking op dit thema versterkt wordt. Dit ondersteunt in de projectalternatieven de aanpak van het nationale beleid. In het BAU-scenario is de opgave van het nationale beleid relatief zwaar, omdat geen bijdrage te verwachten is van kennisontwikkeling en dergelijke uit het buitenland.

De inspiratie voor de invulling van de projectalternatieven komt uit vergelijkbare scenariostudies van energietransitie. IEA (2010) heeft verschillende varianten van Blue Map uitgewerkt die overeenkomen met de invulling van de projectalternatieven. Zo is er een variant van Blue Map waarin CCS en kernenergie centrale opties zijn. In een andere variant wordt juist de inzet van hernieuwbare bronnen maximaal benut. In ECF (2010) komen we vergelijkbare varianten tegen. Hierin zijn drie varianten doorgerekend die verschillen in de mix tussen hernieuwbaar, kernenergie en CCS. Concreet is de verdeling:

- 80% hernieuwbaar, 10% kernenergie, 10% CCS
- 60% hernieuwbaar, 20% CCS en 20% kernenergie
- 40% hernieuwbaar, 30% CCS en 30% kernenergie

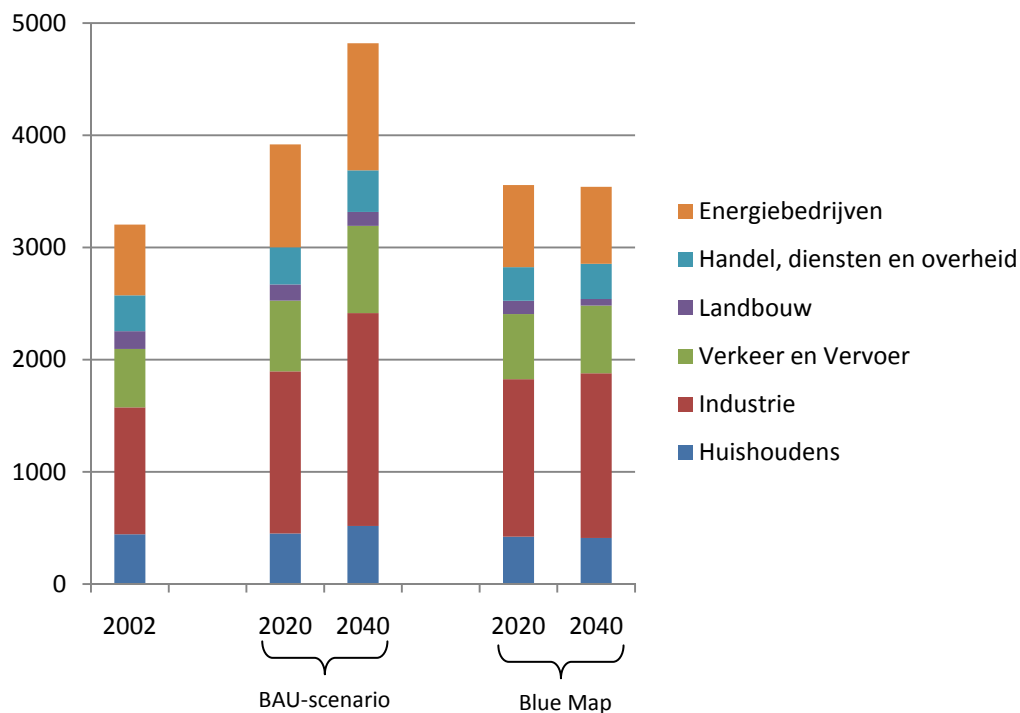
Dit betreft de energiemix voor de Europese energiehuishouding wat het grote aandeel kernenergie verklaart. Dit aandeel is in de Nederlandse context veel kleiner waardoor het vooral gaat om de vraag hoe de mix is tussen de inzet van hernieuwbare bronnen en de toepassing van CCS. De invulling van de projectalternatieven in dit onderzoek is de reflectie van dit vraagstuk.

3.3.2 Ontwikkeling aan de vraagzijde

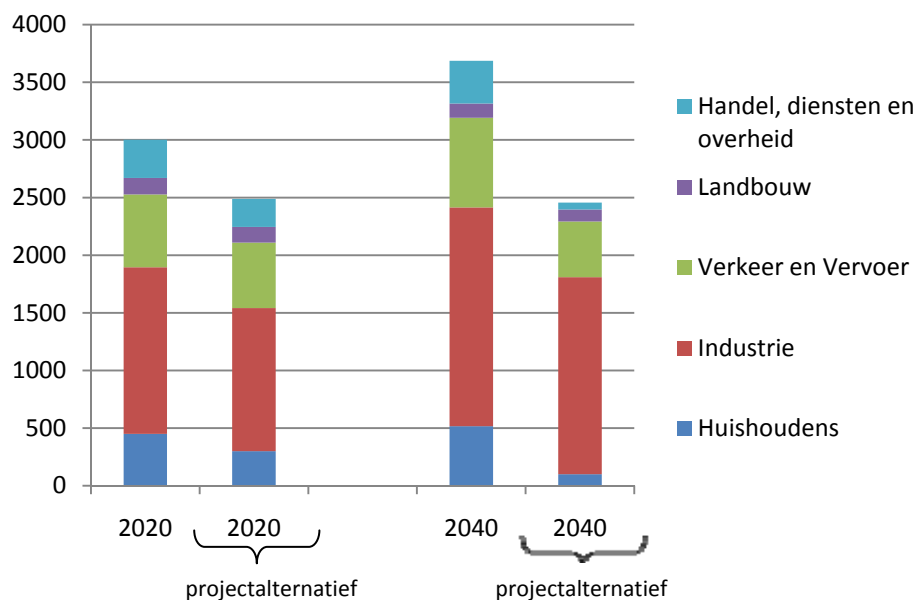
In de projectalternatieven vindt een reductie in het energieverbruik plaats ten opzichte van het energieverbruik in het nulalternatief. De besparing bedraagt ruim 2000 PJ in 2050 voor de projectalternatieven in het BAU-scenario en 630 PJ in Blue Map. Uiteraard verschillen de instrumenten waarmee in beide scenario's besparing is gerealiseerd. In Blue Map veronderstelt het nulalternatief al een besparing van circa 1,5% per jaar. De extra besparing wordt gerealiseerd in de gebouwde omgeving, via extra inzet van WKK en met het *Anders beprijzen van mobiliteit* (kilometerprijs). De lagere warmtevraag zorgt voor een daling in het gebruik van gas. Door de besparingen daalt het energiegebruik en daarmee de CO₂-uitstoot.

Figuur 3.3 geeft aan hoe het energieverbruik zich ontwikkelt per sector in de nulalternatieven. De figuur laat zo zien dat het nulalternatief in het Blue Map scenario al een deel energiebesparing veronderstelt. Ook blijkt uit de figuur dat in het BAU-scenario vooral de industrie een sector is waar het energieverbruik stevig doorgroeit bij afwezigheid van maatregelen om dit verbruik te matigen.

Figuur 3.4 splitst het energiegebruik verder uit om de besparing in de projectalternatieven tot uitdrukking te brengen. De figuur betreft de situatie onder het BAU-scenario, omdat dit scenario dwingt tot het nemen van stevige besparingsmaatregelen. Zoals gesteld, veronderstelt het nulalternatief in het Blue Map scenario al een flink deel energiebesparing en is het additionele effect van het projectalternatief beperkt. De figuur laat zien dat vooral bij de huishoudens, de dienstensector en de transportsector flinke besparingen worden gerealiseerd. De industrie blijft in verhouding een groot aandeel houden in het energieverbruik; de besparingen tellen hier in verhouding minder sterk aan.

Figuur 3.3 Primair energiegebruik per sector in het nulalternatief, 2002-2040

Bron: WLO (2006), p. 286

Figuur 3.4 Primair energiegebruik per sector in BAU-scenario, 2020 en 2040

Bron: SEO

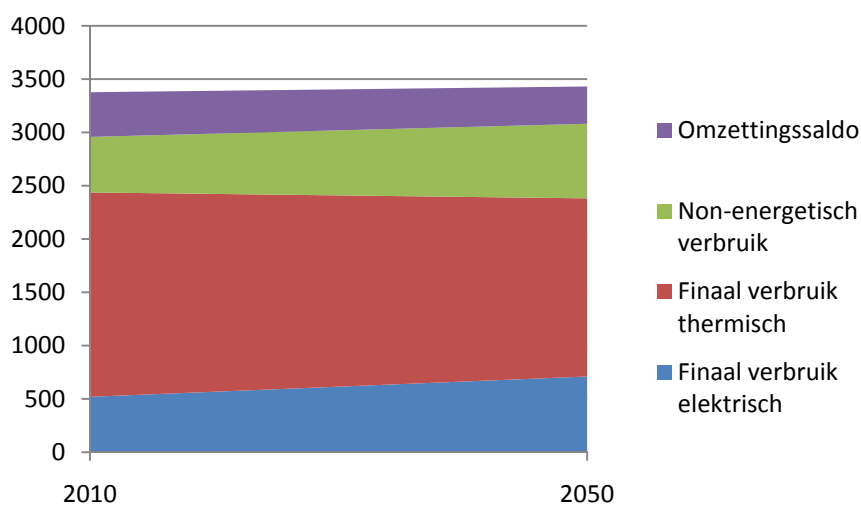
Ontwikkeling finaal verbruik

De stap van nulalternatief naar projectalternatief kan ook worden geïllustreerd door de ontwikkeling in het finaal verbruik te schetsen. Het gaat hier om vier categorieën verbruik: finaal elektrisch verbruik, finaal thermisch verbruik (vooral verwarming en transport), non-energetisch

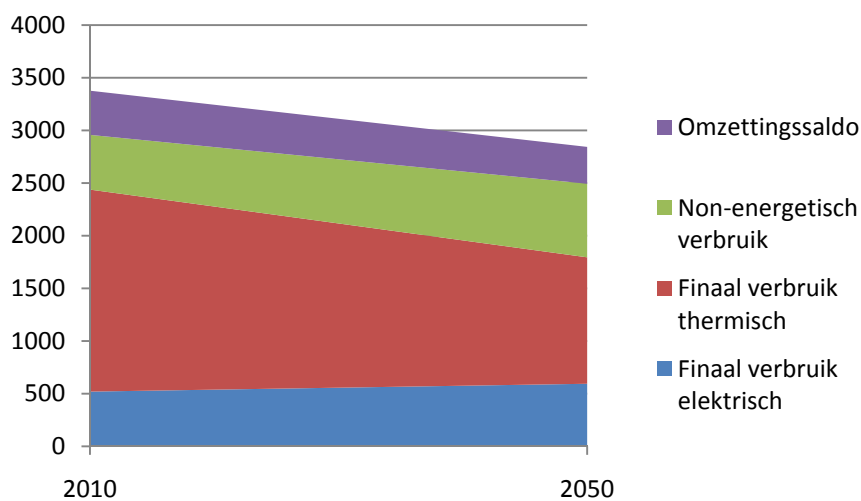
verbruik (energie als grondstof) en het omzettingssaldo. Deze laatste categorie geeft het verlies aan energie weer bij de productie van energie (elektriciteit en warmte) uit primaire energiebronnen.

Voor het Blue Map scenario kunnen de ontwikkelingen van het finaal verbruik voor het nulalternatief en de projectalternatieven naast elkaar worden gezet. Figuur 3.5 geeft het finaal verbruik aan in het nulalternatief. Dit laat de effecten zien van de energiebesparing van circa 1,5% waardoor het verbruik per saldo nauwelijks groeit. In de projectalternatieven voor dit scenario wordt extra bespaard, vooral op het thermisch verbruik (zie Figuur 3.6). Het finaal verbruik elektrisch loopt per saldo licht op door de groei van het aantal elektrische toepassingen zoals elektrisch vervoer dat onderdeel uitmaakt van het energietransitieproces.

Figuur 3.5 Finaal verbruik nulalternatief Blue Map scenario, 2010-2050 (in PJ)

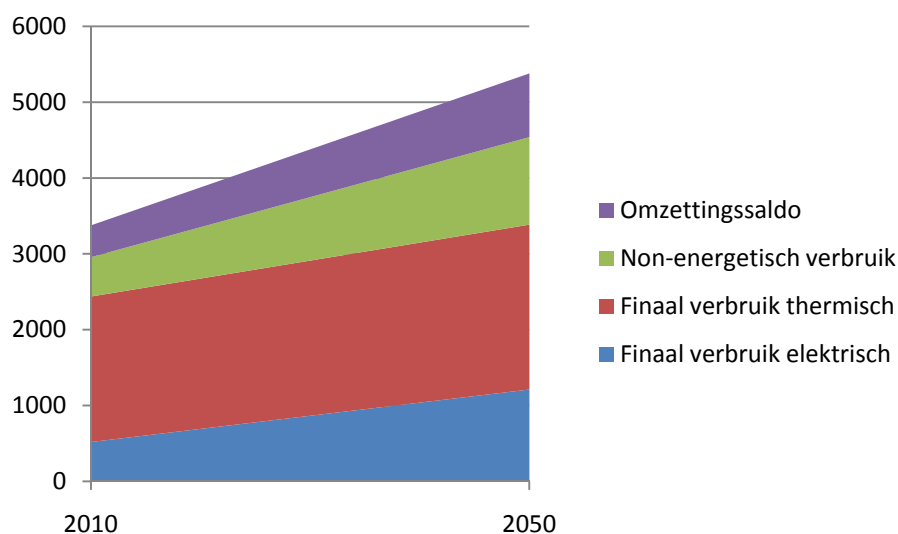


Figuur 3.6 Finaal verbruik projectalternatief Blue Map scenario, 2010-2050 (in PJ)

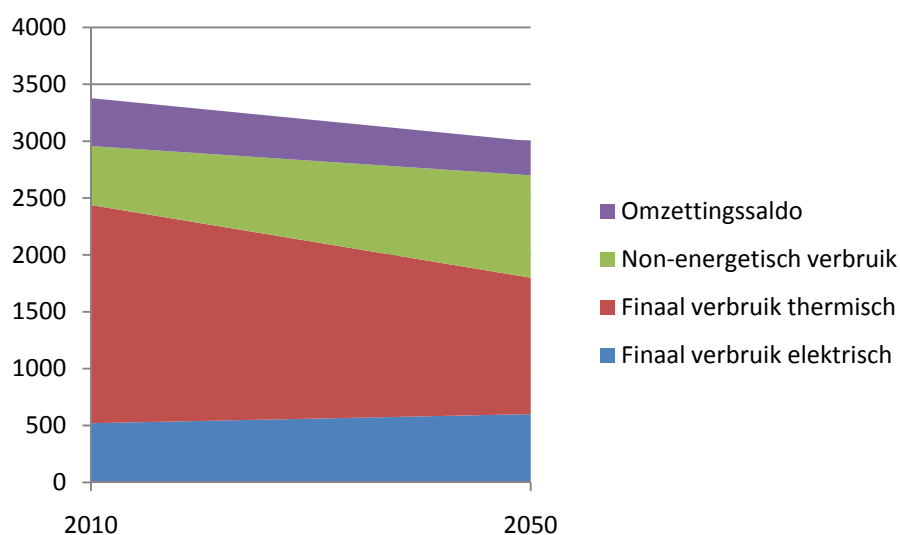


Voor het BAU is in de Figuur 3.7 en Figuur 3.8 dezelfde vergelijking gemaakt. Kern van dit scenario is de sterke groei van het verbruik in het nulalternatief. Het effect van energiebesparing is goed zichtbaar in het projectalternatief (de opties zijn voor de alternatieven Hernieuwbaar en Fossiel gelijk). Ook hier wordt de besparing vooral gerealiseerd bij het thermisch verbruik. Het finaal verbruik van grondstoffen lijkt in de projectalternatieven meer toe te nemen dan in het nulalternatief, maar dit is alleen een relatieve toename. Dit aandeel springt er in de figuur meer uit doordat het totale verbruik veel lager is, terwijl er op het grondstoffenverbruik niet veel wordt bespaard.

Figuur 3.7 Finaal verbruik nulalternatief BAU-scenario, 2010-2050 (in PJ)



Figuur 3.8 Finaal verbruik projectalternatief BAU-scenario, 2010-2050 (in PJ)



De precieze invulling van de besparingsmaatregelen is weergegeven in Tabel 3.3. De tabel is georganiseerd rondom de projecten van de verschillende transitieplatforms. Daarbij zijn de projecten van de platforms niet strikt gevolgd, zoals bij het onderdeel rekeningrijden onder het kopje Duurzame mobiliteit. De tabel laat zien dat de ambitieuze doelstelling van 80% emissiereductie voor de projectalternatieven alleen kan slagen bij grote energiebesparingen over een breed front. De gebouwde omgeving is duidelijk een sleutelsector bij het realiseren van deze agenda. Hieronder wordt per platform een toelichting gegeven van de invulling van de besparingen.

Tabel 3.3 Besparing in de projectalternatieven van het BAU-scenario, 2010-2050 (in PJ)

| <i>In peta joule</i> | 2010 | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 |
|-------------------------------|----------|------------|------------|-------------|-------------|
| Gebouwde omgeving | 0 | 186 | 322 | 603 | 880 |
| Ketenefficiency | | | | | |
| proces intensificatie | 0 | 20 | 30 | 70 | 100 |
| symbiose en restwarmte | 0 | 13 | 25 | 38 | 50 |
| clearing house | 0 | 0,5 | 1 | 1,5 | 2 |
| precisie landbouw | 0 | 3 | 5 | 8 | 10 |
| WKK industrieel | 0 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| Overige Industrie | 0 | 135 | 270 | 390 | 540 |
| Duurzame elektriciteit | | | | | |
| WKK huishoudens | 0 | 18 | 35 | 18 | 10 |
| Duurzame mobiliteit | | | | | |
| slimmer transport | 0 | 38 | 75 | 113 | 150 |
| efficiëntere motoren | 0 | 25 | 50 | 75 | 100 |
| ABvM (rekeningrijden) | 0 | 0 | 93 | 105 | 112 |
| Kas als energiebron | 0 | 13 | 25 | 38 | 50 |
| Totaal | 0 | 502 | 981 | 1510 | 2054 |

* Groene grondstoffen is opgenomen in energiemix

* Nieuw gas is onderdeel van Gebouwde omgeving (hr-ketel) en Duurzame mobiliteit (waterstof)

Platform Gebouwde Omgeving

Energiebesparing in vergelijking tot het nulalternatief (in peta joule)

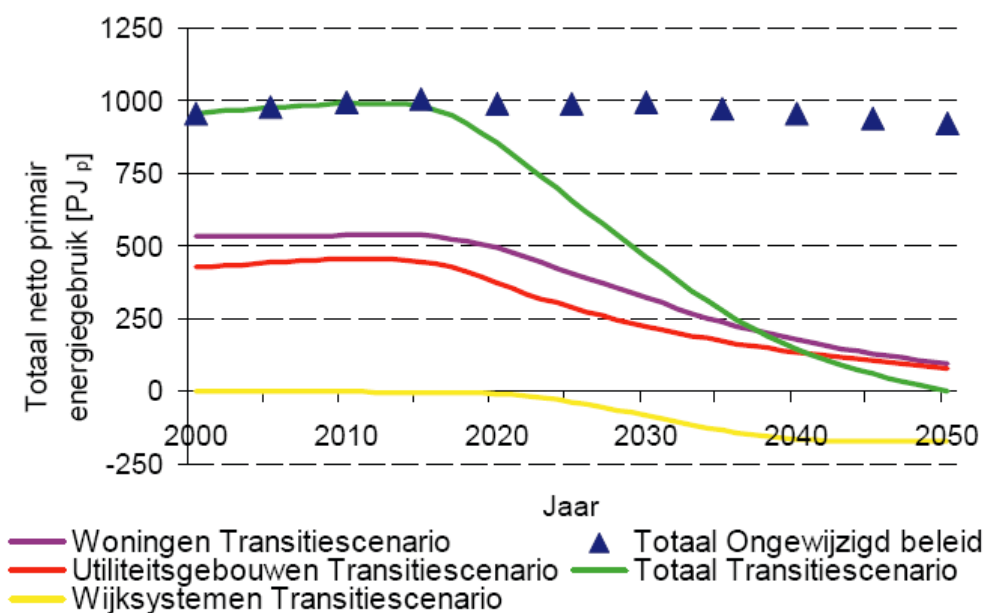
| | 2010 | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 |
|--|------|------|------|------|------|
| | 0 | 186 | 322 | 603 | 880 |

De grootste besparing vindt plaats in de gebouwde omgeving. De totale besparing loopt op tot 880 PJ in 2050. De Innovatieagenda Energie Gebouwde Omgeving (2009) beschrijft het beoogde transitiepad naar een duurzame energiehuishouding in de gebouwde omgeving in 2050. Figuur 3.9 toont de ontwikkeling van het totale energieverbruik in de gebouwde omgeving. In 2010 verbruikt de gebouwde omgeving ongeveer 1000 PJ per jaar.

Bij ongewijzigd beleid komt het verbruik in 2050 volgens het Platform slechts iets lager te liggen. Merk op dat het achtergrondscenario BAU voor deze KKBA een stijging van het verbruik veronderstelt die niet in deze figuur is opgenomen. Het aansturen op energiebesparing vormt het belangrijkste middel om tot een energieneutrale sector te komen. Zowel bij woningen als bij utiliteitsgebouwen wordt er vanaf 2015 sterk ingezet op energiebesparing. Vanaf 2020 loopt daarnaast in de visie van het Platform het ontwikkelen van 'wijkssystemen' mee in de ontwikkeling. Hierbij gaat het om productie van duurzaam opgewekte energie binnen de gebouwde omgeving bijvoorbeeld door middel van zon-pv en warmtesystemen. Deze productiemiddelen zijn als negatieve waarden meegenomen in de figuur.

Voor de besparingen in de KKBA zijn alleen de besparingen meegenomen en niet de wijkssystemen. Deze vallen in de KKBA deels onder de productiemix van het energieaanbod. Bij de totale besparing van 880 PJ in 2050 in de berekeningen in de KKBA is ervan uitgegaan dat de vraag naar energie in de gebouwde omgeving in 2050 positief is. Deze vraag wordt in de visie van het Platform (zie Figuur 3.9) ingevuld door de wijkssystemen, waardoor de gebouwde omgeving als geheel energieneutraal is.

Figuur 3.9 Projectie energiegebruik gebouwde omgeving



Bron: Innovatie agenda – Gebouwde omgeving (2009)

In de innovatieagenda is voor het zichtjaar 2020 een concrete aanpak uitgewerkt van instrumenten en doelen. Het programma is opgebouwd uit de delen 'Denken', 'Doen' en 'Opschalen'. Onder het kopje 'Denken' zijn de doelstellingen geformuleerd; o.a. volledig energieneutraal bouwen in 2020 en bij bestaande bouw het gebruik van fossiel terugdringen met 50 à 75% voor warmte en koelen, en met 25 à 50% voor elektriciteitsgebruik. Gehanteerde instrumenten voor het halen van de doelstelling binnen de bestaande bouw is een verplichte energieprestatie gecombineerd met een fiscale vergroening die het aantrekkelijk maakt te investeren in energiezuinige maatregelen. Bij

nieuwbouw worden soortgelijke instrumenten ingezet zoals het aanscherpen van de EPC-normen voor woning- en utiliteitsbouw en het oprichten van een programma voor innovatie en opschaling van nieuwe technieken. De EPC-norm voor nieuwbouw moet op grond van Europese richtlijnen al in 2020 naar nul. Dit betekent dat nieuwe woningen energieneutraal zijn. Vervolgens zal via vervanging en renovatie ook de bestaande woningvoorraad moeten worden aangepakt om de ambitieuze doelstelling van 880PJ besparing in 2050 te kunnen realiseren. Dit kan alleen met zeer scherpe normering en flankerend beleid met subsidies.

Platform Ketenefficiency

Energiebesparing in vergelijking tot het nulalternatief (in peta joule)

| | 2010 | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 |
|------------------------|------|------|------|------|------|
| proces intensificatie | 0 | 25 | 50 | 75 | 100 |
| symbiose en restwarmte | 0 | 13 | 25 | 38 | 50 |
| clearing house | 0 | 0,5 | 1 | 1,5 | 2 |
| precisie landbouw | 0 | 3 | 5 | 8 | 10 |
| WKK industrie | 0 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| overige industrie | 0 | 135 | 270 | 390 | 540 |

Net als het platform Gebouwde Omgeving is het platform Ketenefficiency sterk gericht op energiebesparing. Het platform probeert de “gehele keten zo energie-efficiënt en -effectief mogelijk (her) in te richten”. Binnen het platform Ketenefficiency zijn verschillende plekken waarop besparingen worden ingeboekt. Belangrijkste target is daarbij de procesindustrie waar chemische en fysische processen plaatsvinden die veel energie kosten. Volgens het platform maken veel installaties in de procesindustrie gebruik van oude technologie. Nieuwe technieken en andere werkwijzen maken het mogelijk om met een veel kleinere installatie de zelfde resultaten te boeken. Deze procesintensificatie leidt eveneens tot een veel lager gebruik van energie. De *European Roadmap for Process Intensification* schetst voor verschillende technologieën de mogelijkheden. Binnen de industrie moet er ook energie bespaard worden door beter samen te werken en door restwarmte beter te benutten. Het clearing house idee haakt in op het nodeloze transport van commodities goederen tussen leveranciers en klanten, terwijl er vaak een leverancier op kortere afstand van de klant aanwezig is. Het clearing house principe wordt eerst opgezet voor de chemiesector, waarna het overgenomen kan worden door overige sectoren. De afname in transport zorgt voor een energiebesparing van 2 PJ in 2050.

De toepassing van WKK in de industrie is bij het platform KE ondergebracht vanwege de nadruk op de warmtevraag. De productie van elektriciteit is bij deze toepassing een bijproduct. We veronderstellen dat de warmtevraag in de industrie gaat dalen, mede door de sterk stijgende CO₂-prijzen in beide projectalternatieven. De dekkingsgraad van WKK in de industrie zal echter stijgen waardoor de besparing van dit onderdeel per saldo op 50 PJ blijft steken (zie mede WLO 2006, p 291).

In aanvulling op deze door het platform besproken besparingen in de industrie is er tevens een belangrijk post voor overige besparingen in de industrie ingeboekt. Deze overige besparingen lopen op tot 540 PJ in 2050 en vormen daarmee een niet te verwaarlozen post. Zoals hierboven is beschreven, is de industrie een belangrijke bron van energieverbruik in 2050. De industriector is daarom een aangewezen bron voor extra besparing. De hogere besparing komt ook overeen met de conceptresultaten van het onderzoek door de Universiteit van Utrecht naar het 'Potentieel voor Besparing en Efficiency van Energiegebruik in Nederland (BEEN)', waarin een besparing van circa 800 tot 900 PJ in 2050 mogelijk wordt geacht. De studie geeft daarnaast een aantal maatregelen zoals voor de Basis metaal sector; 'thin slab casting', 'Coke Dry Quenching', 'Smelt' reductie (HISarna) en 'Near net shape casting'. De besparingen zijn te vinden in de verschillende sectoren binnen de industrie en vormen deels een aanvulling en overlappen deels met de activiteiten van het platform op het gebied van procesintensificatie en symbiose/restwarmte.

Het platform zet zich daarnaast in voor de toepassing van precisielandbouw waarbij het gebruik van hulpstoffen precies wordt afgestemd op klimaat, bodem en gewas. Per gewas wordt er gekeken welke omstandigheden het beste zijn voor de groei van de plant, vervolgens wordt per vierkante meter grond de hoeveelheid hulpstoffen aangepast. De methode bespaart onder andere op kunstmest, pesticiden en brandstof. In totaal wordt daarmee naar verwachting 10 PJ energie bespaard in 2050.

De belangrijkste instrumenten om de veranderingen tot stand te brengen zijn het samenbrengen van partijen en het realiseren van voorbeeldprojecten om de transitie op gang te brengen en te houden.

Platform Duurzame Elektriciteit/Nieuw Gas

Energiebesparing in vergelijking tot het nulalternatief (in peta joule)

| | 2010 | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 |
|-----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | | | | | |
| WKK huishoudens | 0 | 18 | 35 | 18 | 10 |

De toepassing van (micro) WKK komt bij verschillende platforms terug. In haar visierapport 'Vergezichten in gas' beschrijft het platform Nieuw Gas de rol van (micro) WKK in woningen en gebouwen. Momenteel heeft aardgas nog een dominante positie in het voorzien van warmte aan woningen, maar naar verwachting zal dit afnemen naarmate woningen beter geïsoleerd worden en nieuwbouw energieneutraal wordt. Het platform Duurzame Elektriciteit schetst in haar rapport 'Naar een duurzame elektriciteitsvoorziening: de Visie' een beeld van een toenemende toepassing van WKK tot deze overbodig wordt gemaakt door de bredere inzet van niet fossiele bronnen zoals wind- en zonne-energie. De besparing behaald door de toepassing van WKK loopt daardoor op tot medio 2020-2030 en vervolgens terug tot 10 PJ in 2050.

Platform Duurzame mobiliteit

Energiebesparing in vergelijking tot het nulalternatief (in peta joule)

| | 2010 | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 |
|-----------------------|------|------|------|------|------|
| slimmer transport | 0 | 38 | 75 | 113 | 150 |
| efficiëntere motoren | 0 | 25 | 50 | 75 | 100 |
| ABvM (rekeningrijden) | 0 | 0 | 93 | 105 | 112 |

Voor de transportsector bestaan grosso modo twee mogelijkheden voor energiebesparing. Enerzijds besparen we energie door minder kilometers te maken, anderzijds door minder energie te gebruiken per afgelegde kilometer. Rekeningrijden is een voorbeeld van een besparing op het aantal kilometers door middel van een beprijzing van het weggebruik. Daarnaast zijn er ook andere manieren van ‘slimmer’ transport te bedenken, zoals Intelligente Transportsystemen (ITS), compact rijden/vertreinen. Hierbij wordt geavanceerde informatie- en communicatietechnologie ingezet voor interactieve cruise control (afstandhouden), ondersteuning van de chauffeur (waarschuwingssystemen, semi-automatisch rijden), verkeersinformatie en routenavigatie (verkeersmanagement). Voertuigen worden hiervoor uitgerust met in-car apparatuur. Daarnaast zet het platform in op verandering van de brandstofmix via biobrandstoffen, rijden op waterstof en de door het platform Duurzame Mobiliteit opgestelde brandstofmix projectie geeft verder inzicht in de opkomst van de hybridisering en in de toekomst de toepassing van waterstof. Dit zijn onderdelen van het transitiepad die bij de bespreking van de energiemix aan bod komen.

Paragraaf 3.4 gaat nader in op het transitieproces in de transportsector.

Platform Kas als energiebron

Energiebesparing in vergelijking tot het nulalternatief (in peta joule)

| | 2010 | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 |
|--|------|------|------|------|------|
| | 0 | 13 | 25 | 38 | 50 |

In het Jaarplan 2010 geeft het platform Kas als Energiebron een duidelijk overzicht van de transitiepaden tot 2020. Het doel is om kassen energieneutraal te maken en uiteindelijk mogelijk ook energie te laten leveren aan andere gebruikers. Teeltstrategieën kunnen worden aangepast zodat er minder energie nodig is voor productie en bijvoorbeeld het gebruik van semigesloten kassen zorgt voor een efficiëntere opslag en gebruik van energie. Het platform geeft zelf geen voorspellingen tot 2050. Voor dit onderzoek is verondersteld dat de totale energiebesparing voor de Kas als energiebron oploopt tot 50 PJ in dat jaar.

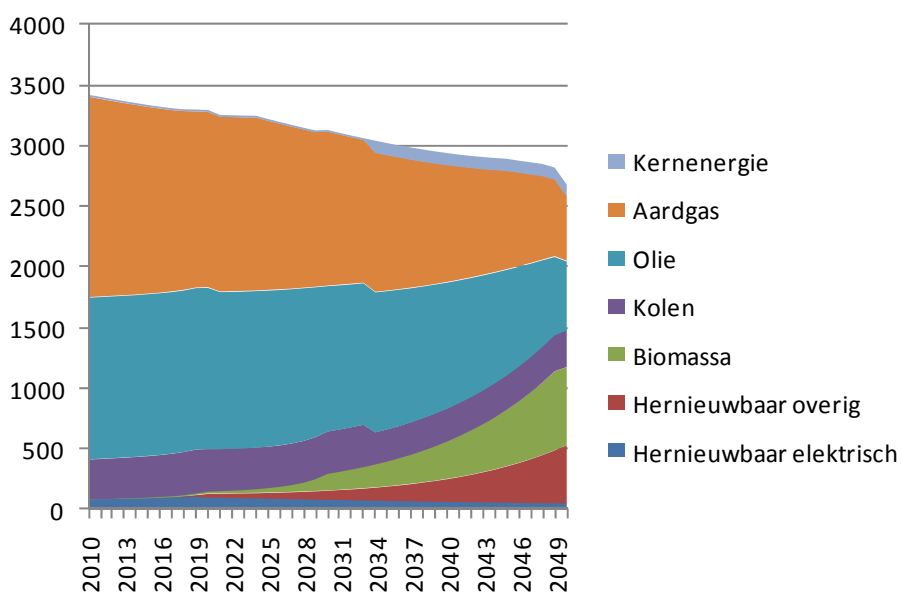
3.3.3 Verandering van de energiemix

In het Blue Map scenario zit in het nulalternatief reeds een verwachte besparing. Bovenop deze besparing is in de projectalternatieven uitgegaan van een additionele besparing die oploopt tot 630 PJ in 2050. Figuur 3.10 laat dit zien voor het projectalternatief Fossiel. In de mix is goed zichtbaar hoe vooral het oliegebruik sterk wordt teruggedrongen door substitutie van de

transportvraag door biobrandstoffen en substitutie van de grondstoffenvraag door groene grondstoffen, hier vertegenwoordigd in het aandeel biomassa. Het aandeel van de groene grondstoffen in de totale energiemix in Blue Map bedraagt circa 600 PJ. In de plannen van het Transitieplatform zit een grotere omvang voor de groene grondstoffen van circa 1000 PJ. Het verschil van circa 400 PJ wordt verklaard door de non-energetische toepassingen van groene grondstoffen zoals bij de productie van eiwitten. Dit is een toepassing die bijdraagt aan de reductiedoelstelling, maar die bij de schets van de energiemarkt niet wordt meegenomen. Hier is geen sprake van energieproductie, maar van productie van een commercieel product met een toepassing buiten de energiemarkt (al zijn er duidelijke raakvlakken met energietoepassingen bij de productie).

Figuur 3.10 laat verder zien dat de reductiedoelstelling in dit projectalternatief vooral behaald wordt door CCS-toepassingen en de inzet van kernenergie. Verondersteld is dat na 2030 twee nieuwe kerncentrales in bedrijf komen, al blijft de impact hiervan beperkt. Het in bedrijf komen van de nieuwe kerncentrales vervangt ander basislastvermogen zoals kolen. Dit verklaart de 'hap' in het marktaandeel van kolenvermogen na 2030.

Figuur 3.10 Projectalternatief Fossiel in Blue Map, Productie primaire energiebronnen (in PJ)

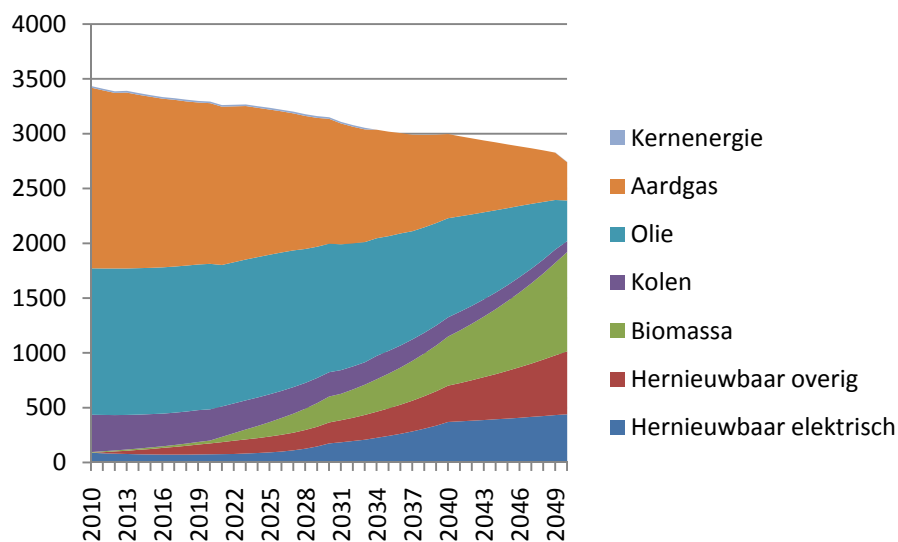


Bron: SEO

Figuur 3.11 toont de productie van de primaire energiebronnen in het projectalternatief Hernieuwbaar in Blue Map. Het aandeel fossiele energie daalt in dit alternatief sterk doordat er geen CCS wordt toegepast. De inzet van biomassa (onder meer groene grondstoffen en biobrandstoffen) en hernieuwbare energie groeit sterk. De groei van het aandeel groene grondstoffen is in dit projectalternatief sterker dan in het fossiele projectalternatief. De reden hiervoor is dat met groene grondstoffen een groter deel van het niet-energetisch verbruik in de industrie wordt vervangen waardoor het verbruik van olie dus ook sterker afneemt dan in het fossiele projectalternatief. Doordat er geen CCS wordt toegepast zijn de marktaandelen van

aardgas en kolen vanzelfsprekend lager en ligt de nadruk in de energiemix veel sterker bij de hernieuwbare bronnen zoals groen gas en wind- en zonne-energie.

Figuur 3.11 Projectalternatief Hernieuwbaar in Blue Map, Productie primaire energiebronnen (in PJ)



Bron: SEO

Het ‘verhaal’ rondom het transitieproces zoals bovenstaande figuren dat weergegeven wordt gedreven door verschillende hefboomen. Een hefboom geeft een keuze weer voor energieproducenten tussen verschillende energieopties. De afweging tussen aardgas en kolen als energiebron voor de elektriciteitsproductie is een voorbeeld van een hefboom; de afweging tussen kolenvermogen en hernieuwbare energiebronnen voor elektriciteitsproductie is een ander voorbeeld. De afweging tussen groene grondstoffen (biomassa) en nafta (een olieproduct) is een derde voorbeeld. De ontwikkeling van de kostprijzen is dus erg bepalend voor de richting van het transitieproces.

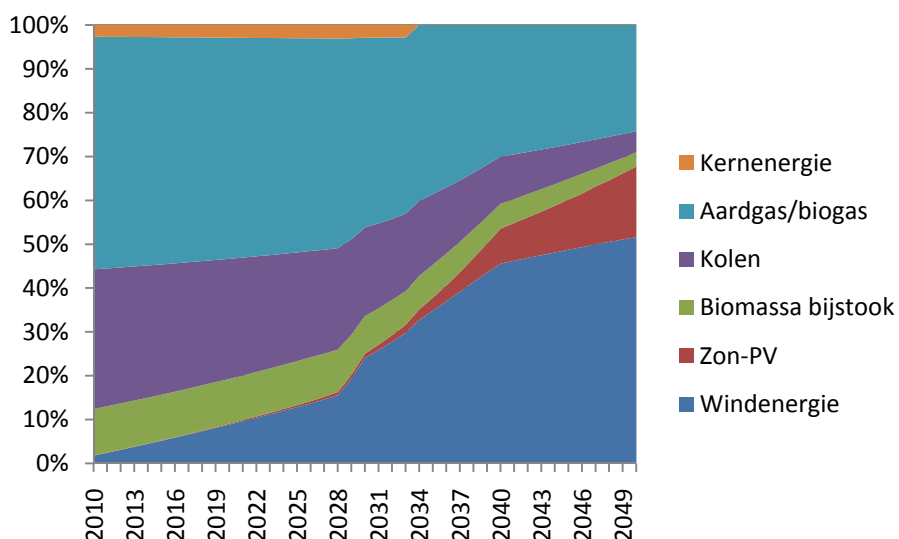
Dit type afwegingen wordt gemaakt op basis van de kostprijzen van de energieopties waarbij rekening wordt gehouden met kostprijsverlagende subsidies zoals SDE. Dit is de hefboom van de overheid om het energietransitieproces in de gewenste richting te sturen. Figuur 3.10 en Figuur 3.11 veronderstellen dat de keuze vanaf circa 2020 in toenemende mate in het voordeel van de hernieuwbare opties zal uitvallen. In eerste instantie zal de invloed van subsidies hierbij bepalend zijn om de onrendabele top van de hernieuwbare opties te corrigeren. Maar technologische ontwikkeling veroorzaakt tevens een autonome daling van de kostprijzen voor hernieuwbare energie en schoon fossiel. In het volgende hoofdstuk worden deze kostencurven nader besproken. Daaruit volgt bijvoorbeeld dat windenergie op land al rond 2015 kan concurreren met de kolenprijs voor elektriciteit, inclusief de ETS heffing. Voor wind op zee wordt dit omslagpunt rond 2030 bereikt. Dit is dan ook het moment dat de hernieuwbare opties snel marktaandeel winnen in de energiemix. Dit geldt voor hernieuwbare elektriciteit maar ook voor de inzet van biomassa. Dit betreft voor een belangrijk deel de productie van groene grondstoffen op basis van biofeedstock (zeewieren, microalgen). Dit is hard nodig om de groei

van het niet-energetisch gebruik van energie (vooral olie) te compenseren. De inzet van groene grondstoffen is ook een ontwikkeling die eerst ‘door’ de kostencurven heen moet voordat grootschalige inzet economisch rendabel wordt. Zolang dit punt niet bereikt is, is ondersteuning vanuit de overheid nodig. Voor deze KKBA is verondersteld dat dit betekent dat de onrendabele top via een stimuleringsregeling wordt weg gesubsidieerd.

De verschillen tussen de projectalternatieven Fossiel en Hernieuwbaar in Blue Map zitten vooral bij de elektriciteitsproductie. Dit blijkt uit Figuur 3.12 en Figuur 3.13. In Figuur 3.12 blijkt de sterke groei van het aandeel windenergie. Deze groei zet stevig door vanaf 2030, het moment dat windenergie offshore volgens de kostencurven een rendabele optie is vergeleken met het referentiepunt, de prijs van ‘schoon fossiel’. Na 2030 begint ook de groei van het aandeel zonnenergie aan te tellen, hoewel het voor deze opties nog langer duurt voordat het breakeven punt wordt bereikt.

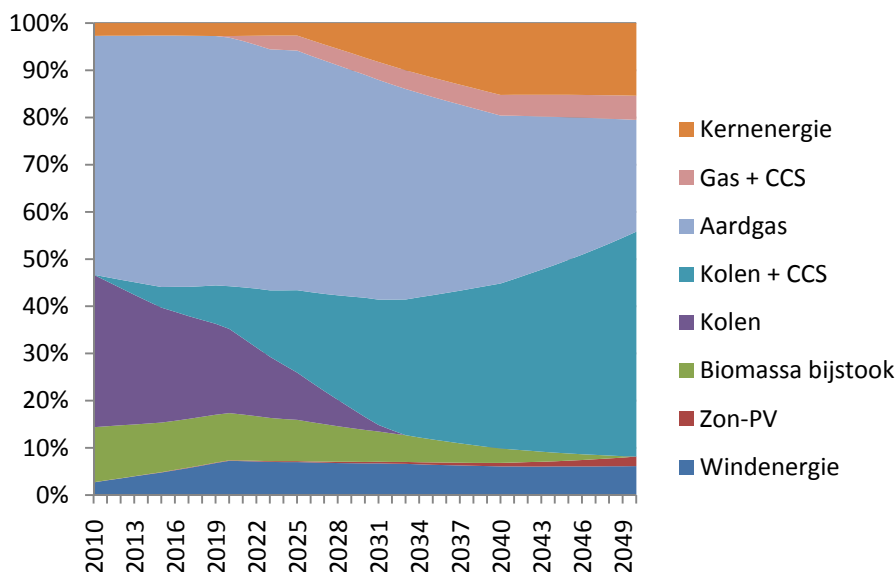
In het projectalternatief Fossiel speelt een andere dynamiek. Hier ligt de nadruk op fossiele energiebronnen zoals kernenergie en kolen en aardgas. De laatste twee opties worden geleidelijk uitgerust met CCS om de emissie van CO₂ te verlagen. Vanaf 2010 wordt het fossiele productievermogen geleidelijk uitgerust met CCS; na 2020 groeit het marktaandeel voor de CCS-opties sneller. De geprojecteerde ontwikkeling van dit marktaandeel zou volgens de kostencurven mogelijk moeten zijn, al zijn de onzekerheden groot. Kolenvermogen wordt na 2030 volledig 100% uitgerust met CCS. Het totale marktaandeel voor kolenvermogen groeit in de loop van de tijd licht ten koste van aardgas. Na 2030 komen ook de nieuwe kerncentrales in bedrijf met een groei van het marktaandeel kernenergie als gevolg. Het aandeel gas is in 2010 dominant en blijft aanzienlijk, deels om het piekvermogen te bedienen.

Figuur 3.12 PA Hernieuwbaar in Blue Map: Aandeel energiebronnen in de elektriciteitsproductie (in %)



Bron: SEO

Figuur 3.13 PA Fossiel Blue Map: Aandeel energiebronnen in elektriciteitsproductie (in %)



Bron: SEO

Bijlage A toont de figuren met de ontwikkeling van de energiemix voor de projectalternatieven in het BAU-scenario. Ook hier neemt in het projectalternatief Hernieuwbaar het marktaandeel voor de hernieuwbare bronnen toe, evenals het verbruik van biomassa. Kernenergie is in dit scenario duidelijker aanwezig dan in Blue Map; er worden na 2030 vier nieuwe centrales geopend.

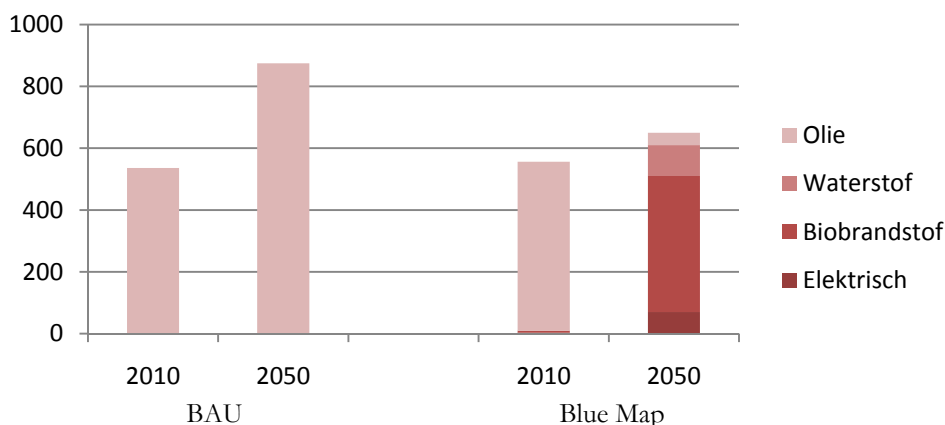
De afwegingen voor het beleid zijn vergelijkbaar met de situatie voor Blue Map. Het verschil is dat leereffecten beperkter zijn vanwege het ontbreken van internationale samenwerking en de geringere inspanningen van het buitenland voor het klimaatbeleid. Dit heeft gevolgen voor een sector waarin technologische ontwikkeling bij uitstek gedreven wordt door mondiale inspanningen. Het gevolg is dat het potentieel voor kostenreducties via leereffecten geringer is. Daar staat tegenover dat prijzen van olie en aardgas in het BAU-scenario sterker stijgen door de sterkere groei van de mondiale vraag naar energie. Dit maakt de hernieuwbare opties relatief aantrekkelijker. Dit laat onverlet dat subsidies nodig zijn ter compensatie van de onrendabele top.

3.4 Transitie naar duurzame mobiliteit

Transport is een belangrijke sector in de Nederlandse economie. Voor de positie van Nederland als in- en doorvoer punt naar de rest van Europa zijn een goede infrastructuur en vlotte doorstroming cruciaal. Om de handelspositie ook in de toekomst te behouden moet er vooruit worden gedacht en rekening worden gehouden met aanstaande ontwikkelingen. De energietransitie draagt hieraan bij door het gebruik van de verschillende technieken en methoden te optimaliseren, en het vervoer zo efficiënt mogelijk te laten plaatsvinden. Dat de mogelijkheden voor een ingrijpende verandering van de mix reëel zijn wordt onderschreven door de internationale bedrijven uit de sector zelf. In het rapport *Mobility 2030: Meeting the challenges to sustainability* beschrijven zij gezamenlijk de opties voor verduurzaming van mobiliteit.

Naast het economisch belang, is de transportsector ook een belangrijke gebruiker van (fossiele) energie in Nederland. De aanpak van het energieverbruik in de transport is daarom noodzakelijk. In het nulalternatief van het BAU-scenario komt 21% van het totale energieverbruik voor rekening van transport in 2020. Naar verwachting blijft transport ook in de toekomst een belangrijke sector, in 2040 ligt het aandeel van transport eveneens op 21%. Dit is de prognose bij afwezigheid van actief beleid om de transitie naar een duurzame energiehuishouding vorm te geven.

Figuur 3.14 Energieverbruik nulalternatief BAU en Blue Map scenario



Bron: SEO Economisch Onderzoek

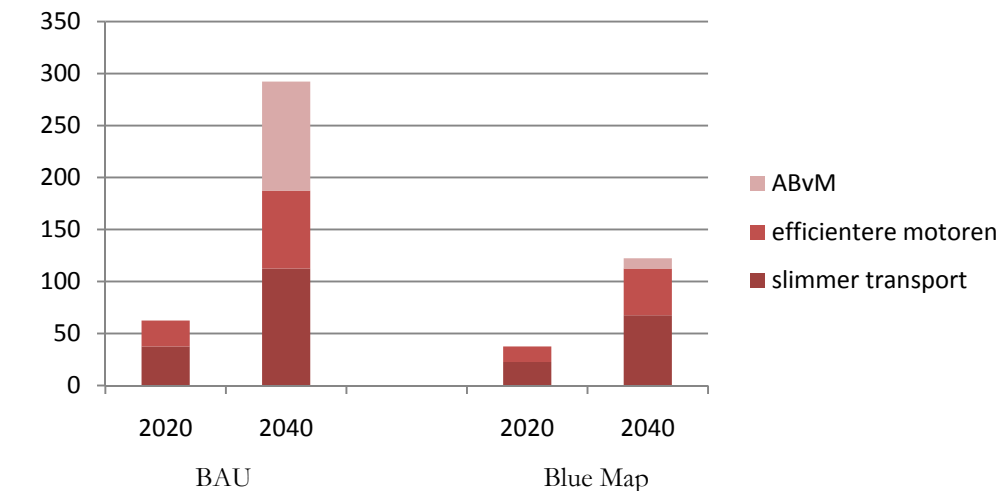
In het BAU-scenario wordt dus geen extra beleid gevoerd en zijn de verwachtingen voor de technologische ontwikkelingen ongunstig. De toenemende welvaart zorgt voor een stijging in het vervoer van goederen en personen tussen 2010 en 2050. Het energieverbruik door de transportsector in Nederland groeit daardoor ongeremd met 63% over dezelfde periode. Het totale energieverbruik in 2050 komt daarmee op 875 PJ. Wegens de beperkte ontwikkeling van technologieën en het afwezig zijn van prikkels tot verduurzaming, vindt er in het BAU-scenario geen vergroening plaats van het wagenpark. De uitstoot van CO₂ en andere schadelijke stoffen neemt daardoor eveneens fors toe.

In het nulalternatief van het Blue Map scenario vindt er wel al een transitie plaats in het wagenpark. De totale hoeveelheid energieverbruik stijgt van 556 PJ in 2010 naar 635 PJ in 2050. Een groot deel van dit energieverbruik wordt ingevuld door schone energie. Belangrijkste bron zijn de biobrandstoffen. Deze vervangen zowel vloeibare energiedragers als benzine en diesel, door bijvoorbeeld ethanol en biodiesel, en vervangen daarnaast de gassen LPG en LNG door biogas. De reeds ingezette weg naar hybridisering wordt verondersteld verder benut te worden. Het totaal van 70 PJ aan elektrisch vervoer in 2050 bestaat daardoor uit zowel hybride voertuigen als uit volledig elektrisch aangedreven transport. De aanname over positieve technologische ontwikkelingen in het Blue Map scenario maken op termijn de inzet van waterstof mogelijk (IEA, 2009).

Energiebesparing in de transportsector vindt plaats door middel van slimmer rijden, de invoering van een vorm van beprijzing van mobiliteit en het toepassen van efficiëntere technieken. Door het lage besparingspercentage in het BAU-nulalternatief, valt er relatief veel te behalen met de

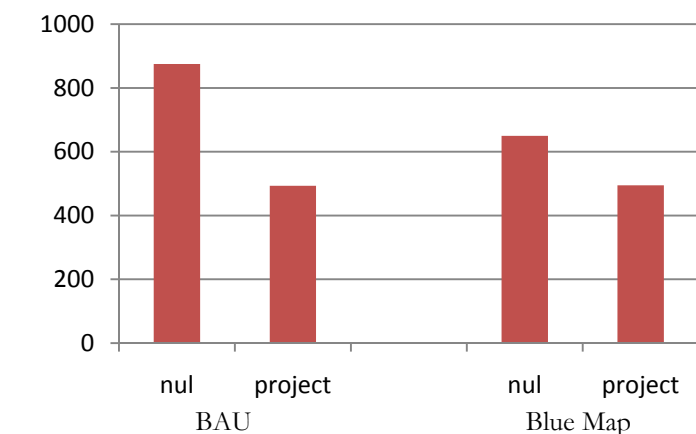
voorgestelde maatregelen. In totaal wordt er in de transportsector in 2050 362 PJ bespaard ten opzichte van het nulalternatief.

Figuur 3.15 Energiebesparing transport in BAU en Blue Map scenario



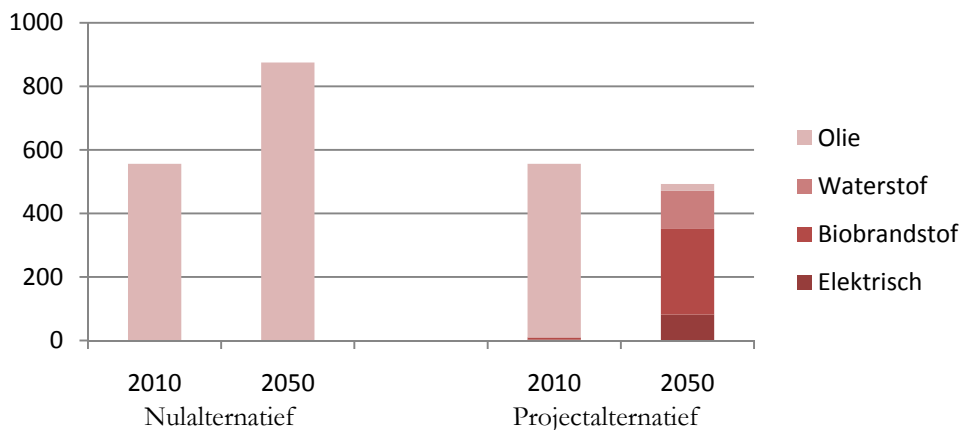
In het nulalternatief van het Blue Map scenario is naast een verandering in de energiemix reeds een besparing verondersteld. Om de 80% CO₂ reductie te halen in 2050 is additionele besparing vereist, welk deels bij de transportsector terechtkomt. De additionele besparing bij transport in 2050 is 140 PJ. Het beprijzen van mobiliteit is onderdeel van het nulalternatief in het Blue Map scenario. De additionele besparing komt daarom voor slechts een beperkt deel voort uit het verder opvoeren van de beprijzing van mobiliteit. Het overige deel van de besparing wordt gerealiseerd door het verder opvoeren van de efficiëntie van motoren en het slimmer gebruikmaken van transport.

Figuur 3.16 Energieverbruik transport in 2050, BAU en Blue Map scenario



In 2050 is er een groot verschil in totale energieverbruik tussen de nulalternatieven van het BAU en Blue Map scenario, door de afwezigheid van nieuw beleid in het BAU-scenario. Dit verschil wordt kleiner door de relatief grote hoeveelheid aan energiebesparing in het BAU-scenario ten opzichte van de besparing in het Blue Map scenario. De projectalternatieven van beide scenario's kennen daardoor nauwelijks verschillen in de energiemix voor de transportsector, zoals de rechterkolom uit Figuur 3.17 en Figuur 3.18 laten zien.

Figuur 3.17 Energiemix nul- en projectalternatief BAU-scenario



Bron: SEO Economisch Onderzoek

De dominantie van olie in de energiemix voor het nulalternatief vraagt om een verklaring. Dit nulalternatief veronderstelt stevige economische groei (dus ook van de vraag naar transport) maar zonder dat overheid en bedrijfsleven actief inzetten op verduurzaming van de energiehuishouding. De toepassing van alternatieve bronnen van energie ontbreekt daardoor geheel in het nulalternatief voor het BAU-scenario. De projectalternatieven zetten wel sterk in op verduurzaming waardoor het aandeel olie daalt naar 4,5% van het totale energieverbruik in de transportsector.

Het transitiepad voor de transportsector is gelijk voor het hernieuwbaar en fossiele projectalternatief. De tussen de projectalternatieven veronderstelde verschillen in toepassing van CCS en kernenergie hebben geen direct effect op de gehanteerde mix. De hier beschreven energiemix in het projectalternatief geldt dus voor zowel het hernieuwbare als het fossiele alternatief.

De groei in het gebruik van fossiele brandstoffen in het nulalternatief heeft serieuze negatieve gevolgen voor het milieu. Ondanks de ruime energiebesparingen in het BAU-scenario moet de mix in brandstofgebruik grondig veranderen om milieuverantwoord te zijn en haar bijdrage te leveren aan de 80% emissiereductie van CO₂. Er liggen grote uitdagingen voor het breder toepassen van biobrandstoffen, het verder uitwerken en doorzetten van de elektrificering van het wagenpark en het ontwikkelen en toepassen van waterstof. Daarbij geldt dat niet alleen motoren aangepast moeten worden, maar dat de gehele infrastructuur rond het produceren en leveren van de brandstoffen aan de eindgebruiker heringericht dient te worden. Een verbetering in de gebruikte technieken en motoren zorgt eveneens voor een vermindering van de uitstoot van schadelijke stoffen. Overheidsbeleid kan hierbij een belangrijke rol spelen. Het gebruik van

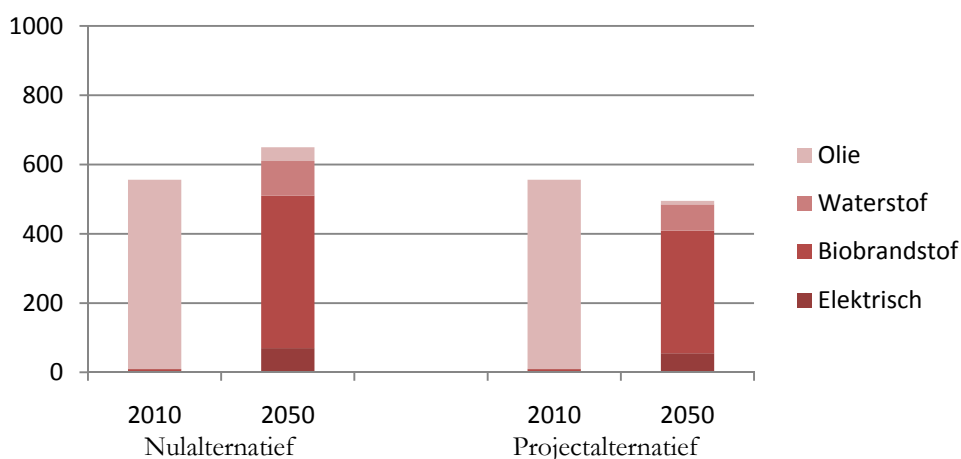
roetfilters is bijvoorbeeld verplicht gesteld voor alle nieuw verkochte auto's door het ministerie van VROM per 1 januari 2011.

Er liggen grote kansen voor het toepassen van hybridisering en elektrificering van transport. Dankzij subsidies van de overheid is het gebruik van hybride motoren in voertuigen een vast onderdeel van het wagenpark geworden. Het omarmen van de techniek door de consument heeft tot verdere verbetering van de techniek geleid, met als zichtpunt het volledig elektrische voertuig. De hybridisering is belangrijk voor een geleidelijke transitie. Veel gebruikers hebben nog geen toegang tot oplaadpunten. Naarmate de verhouding fossiel/elektrisch in toenemende mate dichter bij elektrisch komt te liggen stijgt de vraag naar oplaadpunten. Ondertussen verbetert de techniek en worden de elektrische motoren efficiënter. Het aandeel van elektrificering in de transportsector bedraagt in 2050 bijna 17%. Voor de berekening van dit aandeel evenals voor de aandelen in de energiemix voor biobrandstoffen en waterstof is gebruikgemaakt van berekeningen van het platform Duurzame Mobiliteit.

Biobrandstoffen worden momenteel met name gebruikt als bijmenging bij benzine en diesel. De huidige motoren zijn echter met een relatief kleine aanpassing geschikt te maken voor het gebruik van grotere hoeveelheden biobrandstof. Ook het aanbod van biobrandstoffen neemt toe, waarbij er continu nieuwe, goedkopere en betere vormen van biobrandstoffen worden ontwikkeld. Het gebruik van biobrandstoffen neemt een belangrijke plek in in de transitie. Uiteindelijk hebben biobrandstoffen een aandeel van 55% in het energiegebruik in de transportsector.

De toepassing van waterstof als energiebron in mobiliteit is al jaren een veel besproken onderwerp. Het gebruik van waterstof is aantrekkelijk omdat er geen CO₂ vrijkomt bij de verbranding, maar alleen water. De techniek is echter nog vol in ontwikkeling, en verwachtingen over efficiëntie en rentabiliteit in de toekomst zijn onzeker. In navolging van de berekeningen van het platform Duurzame Mobiliteit wordt de inzet van waterstof op grotere schaal pas na 2020 verwacht en maakt waterstof in 2050 24% uit van het totale energieverbruik in de transportsector.

Figuur 3.18 Energiemix nul- en projectalternatief Blue Map scenario



Bron: SEO Economisch Onderzoek

Het bovenstaande transitietraject wordt binnen het Blue Map scenario reeds in het nulalternatief ingezet en verder uitgebreid in het projectalternatief. De verduurzaming van het energiegebruik leidt in het projectalternatief uiteindelijk tot een aandeel van slechts 2% fossiele brandstof.

4 Kosten en batenanalyse

4.1 De baten van energietransitie

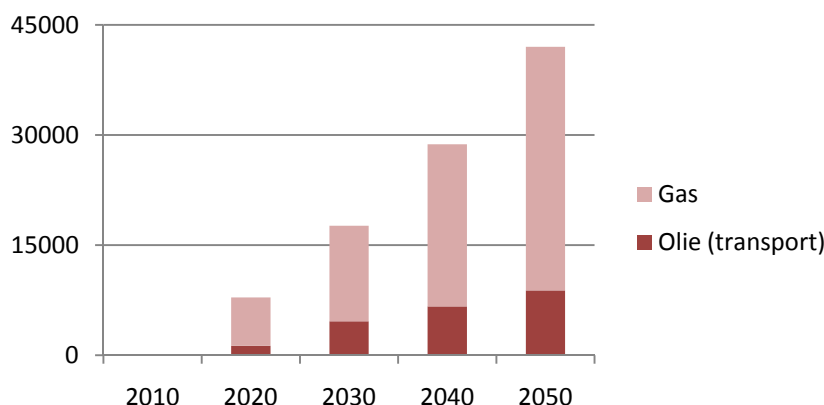
4.1.1 Energiebesparing

Energiebesparing betekent een directe baat voor energieconsumenten. Met een omvang van circa € 42 miljard tot € 189 miljard levert energiebesparing een directe en omvangrijke bijdrage aan de maatschappelijke welvaart (zie Tabel 1.1).

Voor de KKBA is de baat berekend door de besparingsplannen, die georganiseerd zijn rond de Transitieplatforms, te vertalen naar een besparing per fossiele energiebron. Deze besparing is vervolgens vermenigvuldigd met de (verwachte) marktprijs van de betreffende bron om de besparing te kwantificeren. De besparingen zijn toegekend aan de energiebronnen aardgas en olie in de transportsector. Via de productiemix vindt er een uitwisseling plaats tussen de verschillende energiebronnen en daarmee vindt indirect besparing bij de overige energiebronnen plaats. Figuur 4.1 geeft het verloop van de baten van energiebesparing weer. Naarmate de hoeveelheid bespaarde energie oploopt over de jaren stijgen ook de baten. In 2050 bedragen de baten ruim € 4,2 miljard.

Het besparingsprogramma is identiek voor de projectalternatieven fossiel en hernieuwbaar. Dit is een pragmatische keuze om het aantal vrijheidsgraden voor de analyse te beperken. De nadruk ligt nu vooral bij de verschillen in de energiemix. Wel zit er een belangrijk verschil tussen de scenario's BAU en Blue Map. Figuur 4.1 verwijst naar de baat van energiebesparing in BAU. De projectalternatieven in Blue Map realiseren minder energiebesparing, omdat het nulalternatief al een flink deel energiebesparing veronderstelt.

Figuur 4.1 Baten energiebesparing per jaar in miljoenen euro



Bron: SEO Economisch Onderzoek

4.1.2 Voorzieningszekerheid

De substitutie van fossiele energiebronnen voor niet-fossiele bronnen heeft effecten op de voorzieningszekerheid van de energievoorziening. Voorzieningszekerheid heeft betrekking op het welvaartsverlies als gevolg van veranderingen in de beschikbaarheid en prijs van energie en moet worden onderscheiden van leveringszekerheid (IEA 2007, p. 32). Dit laatste begrip staat voor de betrouwbaarheid van energielevering. De maat hiervoor is de gemiddelde storingsfrequentie en storingsduur. De continuïteit en dus voorzieningszekerheid van energie komt in gevaar bij afhankelijkheid van producenten met voldoende marktmacht om de aanvoer van energie te beïnvloeden. Het gevolg kan zijn dat prijzen sterk fluctueren en in crisissituaties kan de invoer van energie onvoldoende zijn om te voldoen aan de vraag naar energie. Voor dit laatste doel en mede om te kunnen voldoen aan een piekvraag leggen landen strategische reserves aan.

Het economische effect van voorzieningszekerheid loopt via twee kanalen. In de eerste plaats heeft een prijsschok op de oliemarkt een langetermijneffect op de potentiële groei van het BBP. Door de hogere olieprijs kan de economie met de beschikbare middelen minder produceren. Je kunt zeggen dat de werking van de werking van de economie tijdelijk verstoord is door de onverwachte prijsstijging van een belangrijke productiefactor, energie. Dit veroorzaakt onzekerheid bij investeerders, leidt tot uitstel van voorgenomen bestedingen en verlaagt daarmee het nationale inkomen en de werkgelegenheid (De Jooode e.a. 2004, p. 52). Dit tijdelijke effect verdwijnt als de nieuwe energieprijs in de verwachtingen verwerkt wordt, maar dit proces gaat niet zonder slag of stoot. Het aanpassingsproces van bedrijven en huishoudens aan een hogere of volatiele energieprijs veroorzaakt kosten die als een extern effect zijn te beschouwen van de importafhankelijkheid van fossiele energie (Leiby 2007).¹⁷

Het CPB heeft een kosten-batenanalyse gemaakt van beleidsopties om de voorzieningszekerheid te vergroten. Een van de alternatieven in de CPB-analyse betreft het subsidiëren van hernieuwbare alternatieven voor olie zoals biobrandstoffen en biofeedstock (De Jooode e.a. 2004). De uitkomst van deze analyse is negatief omdat de baat van de maatregel te beperkt is. Dit is door het CPB vooral berekend als de reductie van de CO₂-emissie die in het geval van de biofeedstock zelfs op nul is gezet. Het argument hiervoor is dat potentiële CO₂-emissie van de nafta producten niet in de atmosfeer komt: het zit opgesloten in het product. De baat is dan beperkt en weegt niet op tegen de hogere kosten van de biobrandstoffen en de biofeedstock. Bovendien moet de biomassa ook allemaal worden geïmporteerd.

IEA (2007) heeft voor Nederland een casestudie uitgevoerd van opties ter verbetering van de voorzieningszekerheid in de energie. Een van de maatregelen is 5% extra CO₂-emissiereductie in 2030 door de inzet van niet-fossiele energiebronnen bij de productie van elektriciteit. Dit zou volgens IEA voor Nederland een verbetering van de voorzieningszekerheid betekenen. De omvang hiervan is 38% gemeten op basis van een index die het risico meet van de

¹⁷ Er kan ook nog een prijseffect optreden als gevolg van monopsonie. Het land in kwestie is dan weliswaar afhankelijk van energie-import maar heeft door de omvang van de vraag invloed op de wereldprijs. Bij besparing op energie-import kan de wereldprijs dalen door het wegvallen van een stuk vraag. Het gevolg is een prijsdaling die de resterende energie-import goedkoper maakt. Dit geldt bijvoorbeeld voor de VS, maar is voor Nederland geen factor van betekenis. Bovendien kan marktmacht van de producerende landen als een countervailing power werken.

productieconcentratie in de energie en de mate waarin landen van die productie afhankelijkheid zijn. Dit betreft een index voor zowel de prijscomponent als de volumecomponent van dit risico.

Helaas kan de IEA-index niet worden vertaald in kosten (negatief of positief) die met de reductie in voorzieningszekerheid gepaard gaan. Voor de KKBA maken we daarom gebruik van een schatting gemaakt door Leiby (2007) van de maatschappelijke kosten van de importafhankelijkheid van olie in de VS. De macro-economische baat van de vermindering van de importafhankelijkheid wordt door hem geschat op \$4,68 per vat met een ondergrens van \$2,18 en een bovengrens van \$7,81. Dit is de waarde van de economische kosten veroorzaakt door een olieschok die bij verminderde import worden vermeden. Deze premie is gebruikt om een baat te berekenen van de verminderde consumptie van fossiele energie (olie en aardgas) bij substitutie door niet-fossiele alternatieven.

De berekende premie voor voorzieningszekerheid is niet constant in de tijd. Hij verandert met de groei van de energievraag en de importen (suggereert grotere afhankelijkheid) en de wereldprijs voor olie. We hebben hiervoor correcties aangebracht die rekening houden met het verschil in economische groei in de scenario's (gemiddeld 2,6% voor Nederland in het BAU-scenario respectievelijk 1,6% in Blue Map) en de olieprijs (\$120 in het BAU-scenario en \$50 in Blue Map). Verder is de importafhankelijkheid van belang. Voor olie is die voor Nederland constant op zo'n 97% van het totale olieconsumptie. Voor aardgas ligt dit anders. Nederland exporteert aardgas maar zal op termijn aardgas importeren met het leeg raken van de Nederlandse velden. In het Blue Map scenario komt dit omslagpunt eerder (2020) dan in het BAU-scenario (2028) door de hogere import van aardgas (WLO 2006, p. 298). De baat voorzieningszekerheid houdt dus wel rekening met de prijs van aardgas, maar dit effect telt minder zwaar door de positie van Nederland op de aardgasmarkt.

De vraag is wat de transitie naar hernieuwbare energie betekent voor de voorzieningszekerheid. In de projectalternatieven zit een toename van bijvoorbeeld biomassa die voor een belangrijk deel ook geïmporteerd moet worden. Wanneer de fossiele brandstoffen volledig vervangen worden door biomassatoepassingen verdwijnt het effect van de voorzieningszekerheid. Bovendien zullen de marktprijzen van de andere hernieuwbare opties voor een deel afhankelijk zijn van de prijs van biomassa. Er is echter geen informatie beschikbaar over het effect dat toename van biomassa heeft op de voorzieningszekerheid. Ook ontbreekt informatie over de prijselasticiteiten van de hernieuwbare opties zodat dit punt niet gekwantificeerd is.

De resultaten van de KKBA laten twee zaken zien:

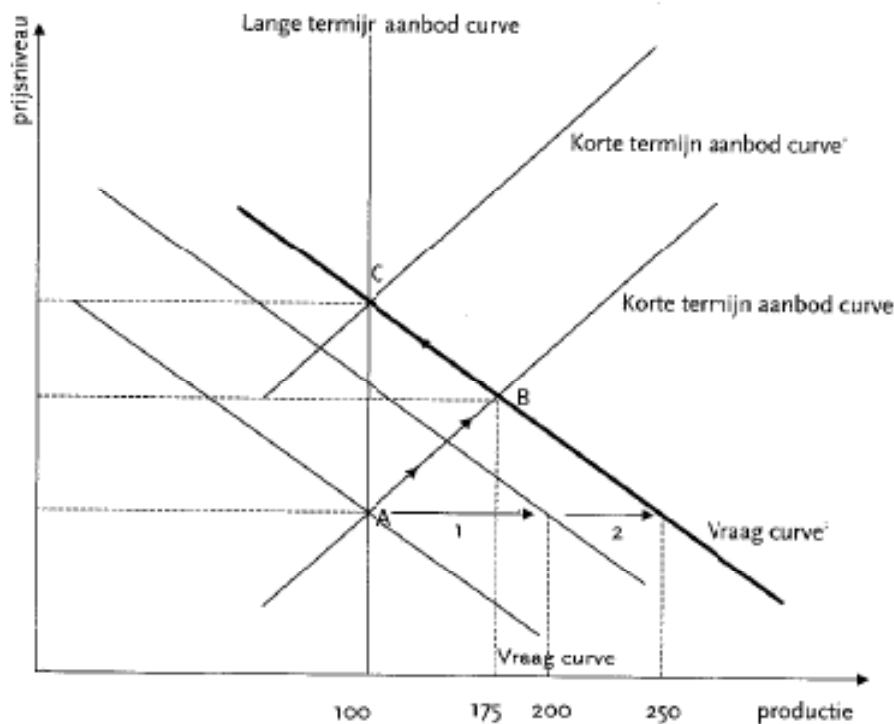
- Als het projectalternatief meer bespaart op olieconsumptie is de baat van voorzieningszekerheid groter. Dit verklaart de verschillen tussen de projectalternatieven hernieuwbaar en fossiel voor de twee scenario's
- De baat is groter in het BAU-scenario door de aanpassing van oliepremie voor economische groei en hogere olieprijs.

De baat voorzieningszekerheid kent een bandbreedte en ligt tussen €4 en € 11 miljard euro met als onzekere factor de invloed van de wereldhandelsprijs voor biomassa op de voorzieningszekerheid.

4.1.3 Bestedingsimpuls

De investeringen in energietransitie genereren een bestedingsimpuls met een effect op de macro-economie in de vorm van een stijging in productie en werkgelegenheid. De omvang van dit effect wordt bepaald door de inkomensmultiplier die alleen optreedt op de korte termijn. Figuur 4.2 legt het verschil uit tussen korte- en langetermijneffecten. De figuur laat een dalende vraagcurve zien in combinatie met een stijgende aanbodcurve voor de korte termijn. De aanbodcurve geeft aan dat bedrijven bij een stijging van de prijs bereid zijn om hun productie op te voeren. Op de lange termijn is de hoeveel productie echter alleen afhankelijk van de hoeveelheid productiemiddelen in de economie en niet van het prijspeil. Op lange termijn wordt zoveel geproduceerd als mogelijk is bij een efficiënte inzet van de productiemiddelen arbeid en kapitaal. Dit is het natuurlijke productieniveau waarbij op de arbeidsmarkt alleen maar frictiewerkloosheid (of natuurlijke werkloosheid) is.

Figuur 4.2 De korte- en langetermijneffecten van bestedingen



Bron: De Nooij en Theeuwes (2004, p. 126).

De werking van de bestedingsmultiplier kan als volgt worden toegelicht. In de figuur is punt A het oorspronkelijke evenwicht tussen vraag en aanbod. De bestedingsimpuls als gevolg van investeringen in energietransitie verschuiven de vraagcurve naar rechts (aangegeven met 1). Door

de toegenomen vraag stijgt de omzet, de productie en daarmee de werkgelegenheid. Dit proces gaat verder omdat de medewerkers en Nederlandse ondernemers in een tweede ronde hun hogere inkomens op hun beurt zullen besteden bij bedrijven in binnen- en buitenland. Dit genereert weer hogere inkomens en meer bestedingen in een derde ronde. Dit proces van doorwerking is het multiplierproces. In elke ronde stijgen het nationaal product en de werkgelegenheid.

Dit proces is echter eindig omdat de bestedingen in elke ronde kleiner worden. In elke ronde lekt inkomen weg bijvoorbeeld omdat er uit de inkomens wordt gespaard of omdat men geen Nederlandse goederen maar ingevoerde producten koopt. Het totale vraageffect, het multipliereffect, is in Figuur 4.2 aangeven met '2'. Bij constante prijzen stijgt de productie met 150 eenheden van 100 naar 250. In het nieuwe kortetermijnevenwicht B is het aanbod met minder dan deze 150 toegenomen omdat tegelijkertijd het prijspeil is gestegen. Hoe groot het uiteindelijke effect is, is afhankelijk van de prijselasticiteit van de vraag- en aanbodcurve. Een extreme situatie is dat de economie in een laagconjunctuur verkeert. In dit geval wordt de vraagimpuls waarschijnlijk helemaal omgezet in een toename van de productie. Alle investeringsuitgaven voor energietransitie zijn dan baten. Het is realistischer te veronderstellen dat de vraagimpuls maar voor een deel een kortetermijneffect op de productie is. Op grond van empirische studies gebruiken De Nooij en Theeuwes (2004) een waarde van 0,5 zodat de productie toeneemt van 100 naar 175. Deze veronderstelling nemen we over bij de analyse van de bestedingsimpuls.

Het gevolg van de multiplier is een hogere productie en werkgelegenheid als kortetermijneffect. Dit is het effect dat we tegenkomen in veel sectorstudies over de gevolgen van investeren in energietransitie. Zo concluderen Van der Slot e.a. (2010) dat stimulering van duurzame energie in Nederland werkgelegenheid creëert in de orde van grootte van 38.000 tot 72.000 FTE in 2020. Voor Europa berekenen Ragwitz e.a. (2009) een netto werkgelegenheidseffect in 2020 van ongeveer 400.000 banen. Dit betreft het effect van een stimuleringsprogramma gericht op het bereiken van een aandeel duurzame energie in de totale productie van 20% in 2020 en 30% in 2030 en is berekend ten opzichte van scenario waarin alle ondersteuning voor duurzame energie wordt stopgezet.

De bestedingsimpuls levert in deze KKBA een baat op € 1 tot € 20 miljard in Blue Map en € 28 tot € 77 miljard in BAU. Het grootste effect doet zich voor in het projectalternatief Fossiel onder het BAU-scenario omdat dit alternatief de grootste investeringsagenda kent.

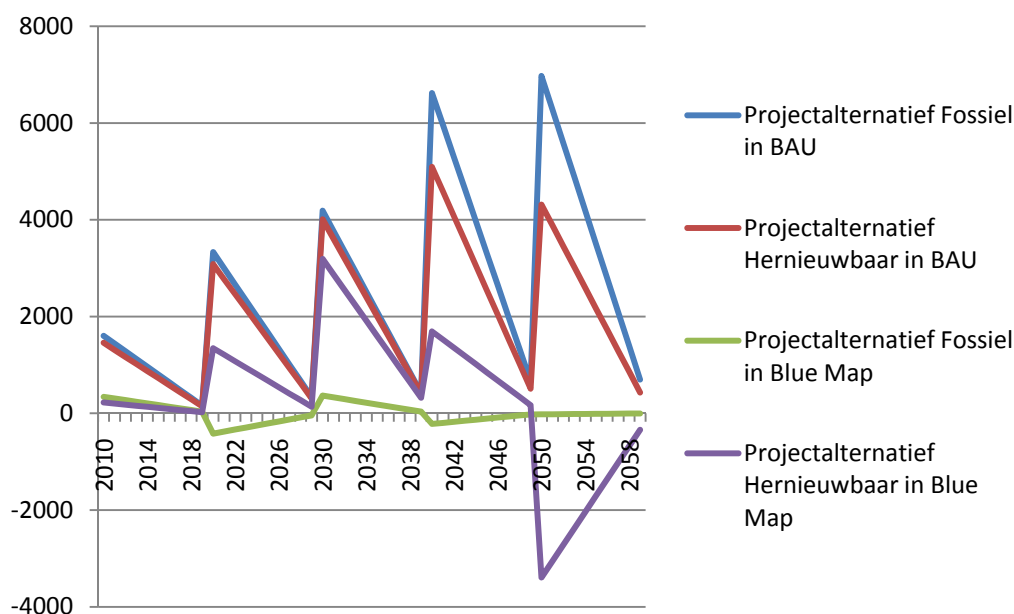
Kern van een bestedingsimpuls is dat het effect op de lange termijn verdwijnt. Dit effect is in Figuur 4.2 te zien als de verschuiving van de aanbodcurve naar boven. De bestedingen leiden tot extra productie en daarmee tot intensievere benutting van potentieel schaarse productiemiddelen in de economie zoals arbeid. Het gevolg is prijs- en loonstijgingen. Prijsstijgingen remmen de bestedingen af en loonstijgingen remmen de inzet van arbeid en daardoor de productie af. Door het stijgende prijspeil daalt de productie van boven het natuurlijke niveau ($B > A$) terug naar het natuurlijke productieniveau ($C = A$). Er wordt in het voorbeeld weer 100 geproduceerd. Uiteindelijk zijn alleen de lonen en prijzen gestegen.

De vraag is hoe snel dit aanpassingsproces verloopt. We gaan ervan uit dat het tien jaar duurt voordat de impuls van de extra bestedingen is uitgewerkt en de economie weer de lange termijn hoeveelheid produceert. Dit spoort met onderzoeksresultaten van het Centraal Planbureau (berekeningen van bestedingseffecten met het Athena model van het CPB). We nemen aan dat het multiplier proces (de toename van het inkomen en de productie boven op de bestedingsimpuls) direct plaatsvindt. Het hierop volgende inflatieproces (prijs- en loonstijgingen die het inkomen en de productie terugbrengen naar het natuurlijke niveau) duurt tien jaar, waarna de economie weer in het lange termijn evenwicht is. In onze berekeningen gaan we ervan uit dat ieder jaar 10% van de oorspronkelijke toename van de productie verdwijnt. We veronderstellen bij onze berekeningen dat de helft van de bestedingen extra productie uitlokt en dat de andere helft leidt tot prijsstijgingen, verdringing en het terugdringen van de productie.

Het gevolg is een bestedingsimpuls met een patroon zoals weergegeven in Figuur 4.3 met de resultaten van de bestedingsimpuls voor de periode tot 2060. Het zigzagpatroon ontstaat doordat de impuls langzaam vermindert en een nieuwe impuls alleen effect heeft voor het deel dat extra is ten opzichte van de eerdere bestedingen. In Figuur 4.3 zijn de resultaten meegenomen tot het jaar 2060 omdat een bestedingsimpuls rond 2050 effecten heeft die nog tien jaar merkbaar zijn en dus van invloed op de omvang van deze baat.

De figuur laat zien dat de impuls ook negatief kan zijn. Dit gebeurt als de omvang van de desinvesteringen in de fossiele energie groter is dan de investeringen in energiebesparing en hernieuwbare energie. Het is waarschijnlijk dat dit plaatsvindt tegen het einde van de transitiecyclus als de hernieuwbare opties beginnen te renderen en snel marktaandeel winnen ten opzichte van de fossiele energiebronnen. Voor het projectalternatief Hernieuwbaar in het Blue Map scenario is dit effect goed zichtbaar.

Figuur 4.3 Omvang bestedingsimpuls in de tijd (bruto), in € miljoen per jaar, 2010-2060



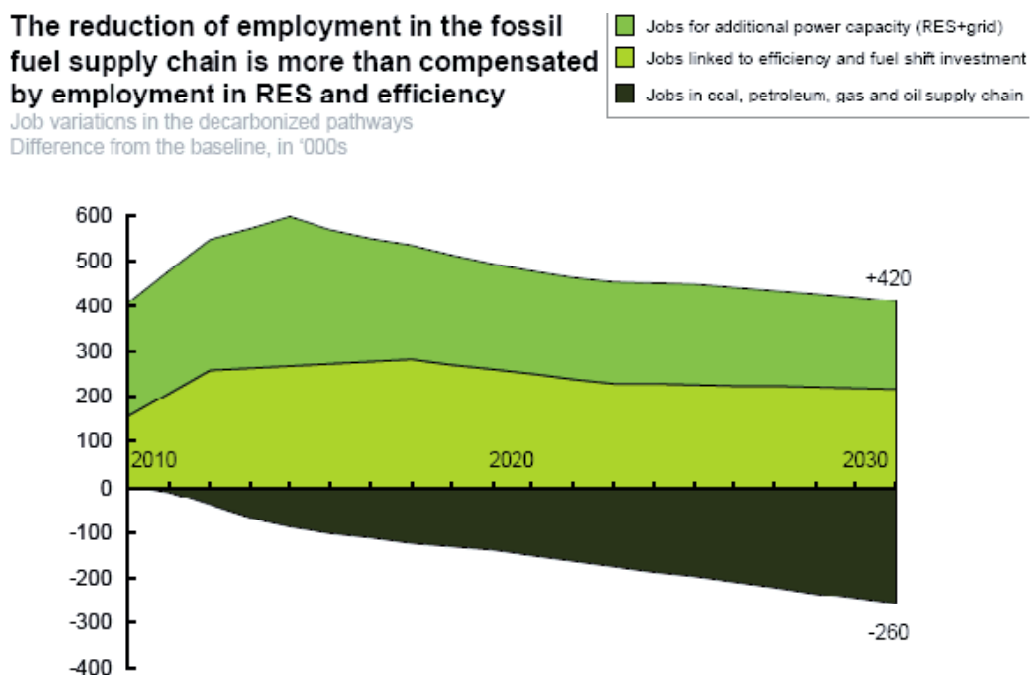
Bron: berekening SEO Economisch Onderzoek

4.1.4 Effect op de structurele groei

Het langetermijneffect van de investeringen op de werkgelegenheid is dus beperkt. Dit komt overeen met de conclusie van vergelijkbare scenariostudies zoals ECF (2010). Ook deze studie laat per saldo weinig extra werkgelegenheid zien van het transitieproces. Dat betekent niet dat er geen effect op de werkgelegenheid is. Integendeel. Er vinden forse verschuivingen plaats tussen sectoren die met hernieuwbare energie te maken hebben en de fossiele energie. ECF (2010) concludeert dat de werkgelegenheid in 2050 met 1,5% is gestegen ten opzichte van het referentiescenario voor deze studie ('business as usual', geen energietransitie, zie Figuur 4.4). Dit langetermijneffect is het gevolg van het effect van de energietransitie-investeringen op de structurele groei. Dit is het langetermijneffect dat optreedt als in Figuur 4.2 de verticale aanbodcurve voor de lange termijn naar rechts verschuift als gevolg van veranderingen in de productiviteit.

Productiviteit verwijst naar het vermogen van de productiefactoren arbeid en kapitaal om toegevoegde waarde – in macro-economische termen, het BBP – te genereren. Een productieve economie is in staat om per eenheid kapitaal en arbeid meer toegevoegde waarde te produceren dan een buurland met een lagere productiviteit. Meestal wordt productiviteit aangeduid door het vermogen van de economie om BBP-groei te realiseren. Dit vermogen hangt af van de twee motoren van economisch groei: arbeidsproductiviteit (BBP per gewerkt uur) en het arbeidsaanbod (Figuur 4.5). Het is niet waarschijnlijk dat energietransitie invloed heeft op de structurele kenmerken van de arbeidsmarkt en via het arbeidsaanbod invloed heeft op de productiviteit. Arbeidsproductiviteit is de sleutel tot analyse van het effect op de structurele groei.

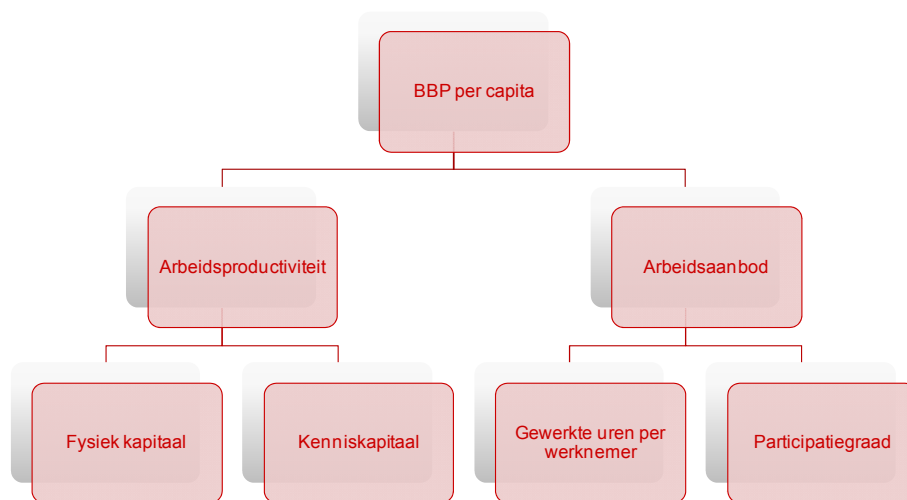
Figuur 4.4 Verschuiving van werkgelegenheid als gevolg van investeringen in duurzame energie



Bron: ECF (2010), p. 86.

Figuur 4.5 laat zien dat arbeidsproductiviteit twee samenstellende delen kent: de fysieke kapitaalgoederenvoorraad en de voorraad kenniskapitaal. Fysiek kapitaal heeft bijvoorbeeld betrekking op machines en andere kapitaalgoederen die een werknemer in staat stellen om per gewerkt uur een hogere productie te halen ('capital deepening'). Kenniskapitaal laat zijn invloed gelden op de productiviteit van zowel arbeid als kapitaal. Het heeft bijvoorbeeld invloed op de efficiëntie waarmee de productiefactoren in het productieproces worden gecombineerd. Dit heet multifactorproductiviteit. Er is nog een derde bron van productiviteitsgroei en dat is de verandering in de structuur van de economie waarbij productieve sectoren marktaandeel winnen ten opzichte van de minder productieve sectoren. Dit effect is in deze analyse buiten beschouwing gelaten.

Figuur 4.5 De opbouw van productiviteit



Bron: gebaseerd op Van Ark, Frankema en Duteweerd (2004), p. 8.

ECF (2010) verwijst op soortgelijke manier naar de effecten van energietransitie op fysiek kapitaal (in de vorm van 'capital deepening') en kenniskapitaal (in de vorm van technologische ontwikkelingen) op de structurele economische groei. De analyse in ECF (2010, p. 85) is zuiver retrospectief en verwijst naar de effecten van de golven in de industriële revolutie op dit vlak. De suggestie lijkt te zijn dat energietransitie een volgende golf zal zijn in dit patroon. Dit kan niet zonder bewijsvoering worden aangenomen. Een lastig aspect is dat de investeringen in energietransitie zeker in de beginfase het gevolg hebben dat de kosten van energie per eenheid product stijgen. Dit veroorzaakt ceteris paribus een daling van de toegevoegde waarde in plaats van een stijging. Box 4.1 laat zien dat we bij de berekening van het productiviteitseffect als gevolg van 'capital deepening' rekening moeten houden met de tegenwerking van een mogelijk duurdere productietechnologie.

- Als een investering in duurzaam de kostprijs per eenheid energie verhoogt resulteert een productiviteitsverlies.
- Een investering in duurzaam die tot een kapitaalintensievere productiemethode leidt verhoogt de productiviteit.

Box 4.1 Het productiviteitseffect van duurzame maar duurdere productietechnologie

Stel dat de economie slechts één product kent, elektriciteit. De elektriciteit heeft als input arbeid nodig en kolen. Voor 1 kWh elektriciteit is 1 eenheid arbeid en 1 eenheid kolen nodig. Om de kolen te winnen is ook arbeid nodig en wel in de verhouding 1:1. Als de economie 50 eenheden arbeid heeft, kan in totaal 50 kWh elektriciteit worden geproduceerd. Stel de loonvoet op €1, dan kost 1 eenheid kolen €1 en een kWh elektriciteit €2. Het BBP is €100 is bestaat uit de som van het factorinkomen en het kapitaalinkomen (in dit geval nul).

Stel dat de elektriciteitsproductie vanwege het klimaatbeleid overgaat op CCS-technologie. CCS verlaagt de efficiency van het productieproces. We hebben nu 1 eenheid arbeid en 2 eenheden kolen nodig om schone elektriciteit via CCS te produceren. Het gevolg is dat met de beschikbare 100 eenheden arbeid nog maar 33 kWh geproduceerd kan worden. 1 kWh kost nu €3,30. Nominaal BBP is nog steeds €100 maar in reële termen is het BBP met 33% gedaald. Dit geldt ook voor de productie per eenheid arbeid. Ceteris paribus is het effect van een duurdere productietechnologie een daling van de arbeidsproductiviteit.

Daar staat tegenover dat de investering in de schone technologie tot een kapitaalintensievere productiemethode leidt ('capital deepening'). Dit effect verhoogt de arbeidsproductiviteit en compenseert dus het effect op de productiekosten. Stel dat door productiviteitswinst als gevolg van een meer kapitaalintensieve productiewijze in de CCS-centrale nog per kWh elektriciteit nog maar 0,5 eenheid arbeid nodig is tegenover 2 eenheden kolen. Dit verhoogt het reële BBP weer tot 50 kWh.

We berekenen in de KKBA de productiviteitseffecten door het verschil in kapitaalinvesteringen tussen nulalternatief en projectalternatief te nemen. Bij een positief verschil zal de productie van energie per saldo kapitaalintensiever worden. Dit geldt alleen voor die investeringen met een kostprijs op of beneden de marktprijs. We corrigeren met andere woorden voor investeringen met een onrendabele top.¹⁸

Bij deze berekening onderscheiden we drie soorten fysiek kapitaal:

- fysiek kapitaal nodig voor elektriciteitsproductie. Dit betreft de kapitaalinvesteringen in de elektriciteitsproducerende industrie, zowel hernieuwbaar als fossiel. Kapitaal bestaat uit centrales en distributie- en transportleidingen;
- investeringen in de productie van groene grondstoffen zoals de natte teelt van zeewier en microalgen;
- overig fysiek kapitaal dat vooral energiegerelateerd is zoals de productie van biogas.

Daarnaast onderscheiden we het kenniskapitaal als bron van multifactorproductiviteit. Om het effect van veranderingen in de kapitaalgoederenvoorraad te berekenen hebben we een output elasticiteit nodig. Deze elasticiteit geeft aan de procentuele verandering in de productie als gevolg

¹⁸ Huizinga en Smid (2004, pp. 55-56) waarschuwen voor het tijdelijke effect van capital deepening als bron van productiviteitsgroei. Een verandering van de kapitaal-/arbeidverhouding door een prijsverandering is volgens deze auteurs altijd tijdelijk, doordat prijsdruk de kapitaal-/arbeidverhouding weer terugbrengt naar het oorspronkelijke evenwicht. De auteurs vermelden niet dat dit alleen geldt voor het langetermijnevenwicht. De theorie van 'growth accounting' staat in de literatuur te boek als een benadering voor de middellange termijn waarin de groeivoet van zowel arbeid, kapitaal als technologische ontwikkeling in de beweging naar een langetermijnevenwicht invloed hebben op de groeivoet van de productie. Middellangetermijn moet hier worden gezien als een periode die meerdere decennia omvat, de relevante horizon voor dit onderzoek. Voor een toelichting op de methode van growth accounting, zie bijvoorbeeld Van Ark, Frankema en Duteweerd (2004).

van de verandering van een productiefactor, zoals de kapitaalgoederenvoorraad. In de literatuur zijn verschillende schattingen gemaakt van deze elasticiteiten.

- In een paneldata-analyse is door de OECD een studie gemaakt van het effect van investeringen in infrastructuur op de economische groei. Voor Nederland is de outputelasticiteit van infrastructuur in de elektriciteitssector 0,25 (Égert, Kozluk en Sutherland 2009, p. 31).
- Voor de private investeringen in r&d-kapitaal berekenen Guellec en Van Pottelsberghe de la Potterie (2001) een output elasticiteit van 0,13. Dit betekent dat een verhoging van de r&d met 1% de productie met 0,13% verhoogt. Publieke r&d-investeringen hebben over het algemeen grotere spillover effecten doordat ze meer in het publieke domein liggen. De outputelasticiteit voor publieke r&d is volgens Guellec en Van Pottelsberghe de la Potterie (2001) 0,17.
- Voor de overige vormen van kapitaal maken we gebruik van een theoretische eigenschap van de Cobb-Douglasproductiefunctie. Dit is een productiefunctie met constante meeropbrengsten. Prettige eigenschap van de functie is het feit dat de outputelasticiteit samenvalt met het inkomensaandeel van de productiefactoren. Dit betekent voor het overige kapitaal bijvoorbeeld dat de outputelasticiteit ongeveer 0,2 is omdat de kapitaalinkomensquotient in Nederland rond de 20% schommelt (CPB 2010, p. 56). De investeringen in groene grondstoffen betreffen een vorm van landbouw en tuinbouw. Bij benadering is voor de kapitaalinvesteringen in groene grondstoffen gerekend met een outputelasticiteit van landbouwgerelateerd kapitaal van 0,18.

Voor de berekening van de productiviteitseffecten zijn de kapitaalinvesteringen in de genoemde categorieën genomen voor zover de investeringen geen onrendabele top kennen en een vorm van 'capital deepening' zijn. Een andere veronderstelling is dat het aandeel private r&d circa 16% van de totale bedrijfsinvesteringen beslaat. De publieke investeringen in r&d voor energietransitie zijn hiervan afgeleid. We veronderstellen dat alle subsidieprogramma's op basis van matching tot stand komen zodat bedrijven en overheid qua omvang dezelfde investering plegen in energiegerelateerde r&d.

De impact van energietransitie op de structurele groei is relatief beperkt. Het effect kan ook negatief zijn als investeringen in hernieuwbare opties of schoon fossiel ertoe leiden dat de arbeidsproductiviteit daalt in plaats van stijgt. Dit gebeurt bijvoorbeeld bij het projectalternatief Fossiel in Blue Map en wordt veroorzaakt door de investeringen in CCS-opties. Het effect op de maatschappelijke welvaart is beperkt met een bedrag van circa € 2 tot 7 miljard voor BAU en maximaal € 3 miljard in Blue Map. Voor het projectalternatief fossiel is het groei-effect per saldo negatief doordat de investering in CCS niet is te beschouwen als kapitaal dat in staat is een hogere productiviteitsgroei te realiseren.

4.1.5 Werkgelegenheidseffecten van energietransitie

Grote veranderingen

Energietransitie leidt tot grote veranderingen van de economie en daarmee ook van de arbeid die nodig is. Er wordt flink bespaard op energie, vooral door te investeren in zuinige kapitaalgoederen zoals machines en gebouwen. Dat betekent dat productieprocessen

kapitaalintensiever worden, waardoor (nog) hoger opgeleid personeel nodig is. Ook kan de vernieuwing van kapitaalgoederen leiden tot minder banen, als ook arbeid door kapitaalgoederen wordt vervangen.

Naast energiebesparing zullen fossiele brandstoffen deels worden vervangen door hernieuwbare bronnen zoals wind en zon; ook dit heeft gevolgen voor de werkgelegenheid. Er verdwijnen banen bij de fossiele bronnen en bij de vernieuwbare bronnen ontstaan extra banen. Afhankelijk van de behoefte aan arbeid bij respectievelijk fossiele en vernieuwbare bronnen, zal de werkgelegenheid per saldo stijgen of dalen.

De werkgelegenheid van economische sectoren wordt beïnvloed door de productiekosten. Daarbij zijn met name de kosten van schone versus vervuilende technieken van belang. Daarnaast zullen de productiekosten van sectoren worden beïnvloed door het systeem van emissiehandel: sectoren die hun emissies sterk reduceren kunnen hun emissierechten verkopen en zien hun kosten dalen. Sectoren die niet of minder reduceren, daarentegen, moeten rechten bijkopen en zien hun kosten stijgen.

Lange termijn effect op totale werkgelegenheid per saldo nul

Volgens de ‘mainstream’ van economen wordt de werkgelegenheid op lange termijn bepaald door het aantal mensen dat een baan wil. In deze ‘algemeen evenwicht’ benadering tendeeft de arbeidsmarkt naar een evenwicht, net als andere markten. Dat gebeurt door aanpassing van de prijs, in dit geval het loonniveau. Als er minder banen dan werkwilligen zijn, stijgen de lonen minder snel¹⁹. Dat betekent voor bedrijven lagere kosten en een betere concurrentiepositie. Daardoor nemen op termijn de productie en het aantal banen toe. Als er meer banen dan werkwilligen zijn, bieden werkgevers tegen elkaar op om mensen binnen te krijgen. Dat leidt tot hogere lonen en op termijn tot minder werkgelegenheid. Kortom, het aantal banen past zich op termijn aan aan het aantal werkwilligen, via aanpassing van de lonen.

In de voorgeschreven richtlijnen voor kosten-batenanalyses van infrastructuurprojecten is vastgelegd dat deze ‘lange termijn algemeen evenwicht’ benadering moet worden gevolgd. De richtlijnen verwoorden het als volgt²⁰:

“Meer banen op één plek betekent vaak minder banen op een andere plek. Deze verdringing wordt vaak over het hoofd gezien. Verdringing is het makkelijkst te beredeneren door een schaarse productiefactor als uitgangspunt te nemen, zoals hooggeschoolde werknemers. Zij kunnen slechts op één plek werken. Als een schaarse productiefactor wordt aangewend heeft dat dus elders een verlies aan productie tot gevolg. Met dit verlies van productie zal eveneens een verlies van banen gepaard gaan. Wel zal de reden voor verdringing meestal samenhangen met een hogere arbeidsproductiviteit bij de nieuwe activiteiten in vergelijking met de oude. Verdringing leidt dus wel tot een reële inkomensstijging.”

¹⁹ Dit gebeurt niet alleen in theorie, maar ook in de praktijk. Begin jaren 80 was er massawerkloosheid. In het akkoord van Wassenaar spraken werkgevers en werknemers af dat de lonen zouden worden gematigd. Na 10 tot 15 jaar was de werkgelegenheid sterk gestegen en was de arbeidsmarkt weer ongeveer in evenwicht.

²⁰ Eijgenraam, C.J.J., Koopmans, C.C., Tang, P.J.G. & Verster, A.C.P.(2000) Evaluatie van infrastructuurprojecten; Leidraad voor kosten-batenanalyse, Sdu, Den Haag, p. 49.

Op minder lange termijn wel extra banen

Tot de aanpassing van de lonen aan overschotten of tekorten op de arbeidsmarkt heeft plaatsgevonden, zijn er wel degelijk extra banen. De werkloosheid wordt dan tijdelijk kleiner en de productie navenant groter. In navolging van andere kosten-batenanalyses²¹ nemen we aan dat dit werkgelegenheidseffect in tien jaar tijd terugloopt naar nul. Dit leidt tot een extra batenpost in de kosten-batenanalyse, bovenop de langetermijneffecten.

Indicatie van de omvang van werkgelegenheidsverschuivingen

Het schatten van de aard en omvang van de aanzienlijke werkgelegenheidsverschuivingen die hierboven zijn geschetst, valt buiten de scope van deze kengetallen kosten-batenanalyse. Maar het is wel mogelijk om een indruk te geven van de mogelijke omvang op basis van Amerikaans onderzoek naar de effecten van emissiehandel²². Emissiehandel is bij de energietransitie het belangrijkste beleidsinstrument naast subsidies. In het Amerikaanse onderzoek wordt verondersteld dat de CO₂-prijs oploopt naar 30 dollar (25 euro) in 2025. Uit dit onderzoek presenteren we alleen varianten waarin de lonen zich op termijn aanpassen, zoals hierboven beschreven.

Tabel 4.1 Werkgelegenheidsverschuivingen door emissiehandel in de VS

| Sector | Verandering werkgelegenheid in de VS in 2025 | |
|--------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------|
| | tienduizenden banen | In % |
| Olie- en gaswinning; gasdistributie | –4 à –10 | –9 à –20 |
| Raffinage | –1 à –2 | –7 à –11 |
| Elektriciteit | –7 à +8 | –11 à +10 |
| Landbouw, industrie, bouw, transport | –7 à –28 | 0 (afgerond) à –1 |
| Diensten (excl. transport) | +23 à 48 | 0 (afgerond) |

Bron: Congressional Budget Office (2010)

Uit Tabel 4.1 blijkt dat emissiehandel leidt tot een verschuiving van industriële activiteiten, transport en traditionele energiesectoren naar de dienstensectoren. De richting van het effect in de elektriciteitssector verschilt tussen studies, omdat het gaat om een verschuiving binnen deze sector. Het totale effect op het aantal banen is ongeveer nul. In procenten zijn de reducties in de traditionele energiesectoren groot omdat de werkgelegenheid daar relatief klein is. De Amerikaanse cijfers zijn niet toepasbaar op de energietransitie in Nederland, onder meer omdat de werkgelegenheid in de VS ongeveer twintig keer zo groot is als in Nederland. Als de procentuele veranderingen in de tabel voor Nederland zouden gelden, gaat het om duizenden banen in plaats van tienduizenden banen en moeten de aantallen ongeveer worden gehalveerd. Het zou dan kunnen gaan om een verschuiving van in totaal tien- tot twintigduizend banen in 2025, bij een CO₂-prijs van 25 euro. Naarmate de CO₂-prijs hoger wordt, wordt ook de verschuiving groter.

²¹ M. de Nooij en J. Theeuwes, Kosten-batenanalyse van vestiging en verblijf internationale organisaties, SEO-rapport 617, 2002.

²² Congressional Budget Office, How Policies to Reduce Greenhouse Gas Emissions Could Affect Employment, 2010.

4.1.6 Waardering externe effecten: CO₂ en overige emissies

Een belangrijke parameter in de kengetallen KBA van energietransitie is de waardering van (vermeden) CO₂-emissies. Voor CO₂ bestaat een marktprijs, namelijk de prijs van emissierechten in het Europese emissiehandelssysteem. In het WLO scenario Strong Europe is de CO₂-prijs € 11 per ton in 2020, oplopend tot meer dan € 80 in 2040.²³ In het Global Economy scenario wordt het systeem van internationale emissiehandel beëindigd en ontstaat er geen CO₂-prijs. Sinds het verschijnen van de WLO scenario's in 2006 is het klimaatbewustzijn verder toegenomen en zijn plannen voor uitbreiding van de emissiehandel naar de luchtvaart en andere sectoren concreter geworden. Daarom lijkt het voor de kengetallen KBA van energietransitie zinvol om zowel in het Blue Map scenario als in het BAU-scenario wel uit te gaan van voortzetting van emissiehandel. Hierbij kan echter de vraag worden gesteld in hoeverre de prijs van CO₂-emissierechten de werkelijke maatschappelijke waarde van vermeden emissies weerspiegelt. De vermeden schade van CO₂-emissies kan veel groter zijn dan de prijs van emissierechten.²⁴

Betalingsbereidheid als grondslag voor maatschappelijke waarde CO₂

Doordat de kengetallen KBA wordt uitgevoerd vanuit een Nederlands perspectief, speelt vermeden schade in het buitenland slechts indirect een rol. Als Nederland CO₂-emissies reduceert, slaan de baten daarvan voor het overgrote deel neer in andere landen. De baten voor Nederland bestaan daarom met name uit het voldoen aan internationale afspraken (Kyoto en toekomstige verdragen). Dit kan worden beschouwd als de Nederlandse bijdrage aan het (deels) voorkomen van kosten van adaptatie aan temperatuurstijging. Om te voldoen aan internationale afspraken zijn in de afgelopen jaren maatregelen genomen die € 20 tot € 65 per ton CO₂-reductie hebben gekost²⁵. Kennelijk was de maximale 'betalingsbereidheid' van de Nederlandse samenleving om aan CO₂-doelen te voldoen dus zo'n € 65 per ton. Dit kunnen we zien als de waarde die de Nederlandse samenleving overheeft voor het voorkomen van schade en adaptatiekosten in Nederland en in andere landen.

Gegeven onzekerheden over de toekomst kan de waarde van vermeden CO₂-emissies in de kengetallen KBA niet zeer precies worden bepaald. Een belangrijke bron voor waarderingen van emissies in Nederland is CE (2008). Kengetallen uit CE studies worden daarom vaak gebruikt in MKBA's van infrastructuur. CE stelt dat CO₂-preventiekosten te verwachten zijn die toenemen van € 25 per ton in 2010 tot € 40 per ton in 2020 en € 85 per ton in 2050²⁶. In de KKBA van energietransitie is het echter beter om schadeprijzen te gebruiken. Bij gebruik van preventiekosten worden de baten van energietransitiemaatregelen gelijkgesteld aan de kosten van andere

²³ CPB/MNP/RPB (2006), Welvaart en leefomgeving: Achtergronddocument, p. 271.

²⁴ Een belangrijke reden hiervoor ligt bij de marktimperfecties in het ETS systeem. ETS dekt bijvoorbeeld niet alle sectoren in de economie of alle bedrijven in een sector. Ook is het allocatiesysteem van de emissierechten niet marktconform: rechten worden nu nog gratis uitgedeeld in plaats van bijvoorbeeld geveild.

²⁵ VROM (2005), Evaluatienota Klimaatbeleid 2005.

²⁶ H.P. van Essen et al. (2008), Berekening van externe kosten van emissies voor verschillende voertuigen, CE, Delft; deze cijfers staan ook in CE (2010), "Handboek Schaduwrijzen - Waardering en weging van emissies en milieueffecten", Delft.

(preventie)maatregelen. De cijfers van CE weerspiegelen een zo kosteneffectief mogelijk beleid; het feitelijke beleid is echter duurder.

Een andere bron is een studie van het Instituut voor Milieuvraagstukken (IVM) van de Vrije Universiteit²⁷ die is uitgevoerd in opdracht van het Platform Duurzame Elektriciteitsvoorziening. Daarin worden resultaten gepresenteerd van het 'ExternE' project, waaraan vele Europese onderzoeksinstituten hebben bijgedragen. Het betreft waarden voor het jaar 2020.

Tabel 4.2 vergelijkt de waarden van CE en IVM (ExternE). Het blijkt dat de externe kosten van CO₂ van een vergelijkbare grootte zijn. De waarden van de andere emissies zijn voor transport hoger, omdat transportemissies zich in of in de buurt van bebouwde gebieden concentreren en op straatniveau plaatsvinden.

Aangezien betalingsbereidheid die besloten ligt in het Nederlandse CO₂-beleid nu al tot € 65 per ton gaat, wordt in de KKBA voor CO₂ de bovengrens de IVM/ExternE cijfers gebruikt: € 76 per ton in 2020. Omdat de ExternE cijfers niet verder gaan dan 2020, passen we op deze cijfers in het BAU-scenario's de groei van de CE waarderingen toe. Dit betekent voor 2050 een CO₂-prijs van $(85/40) \times 76 = € 162$ per ton²⁸.

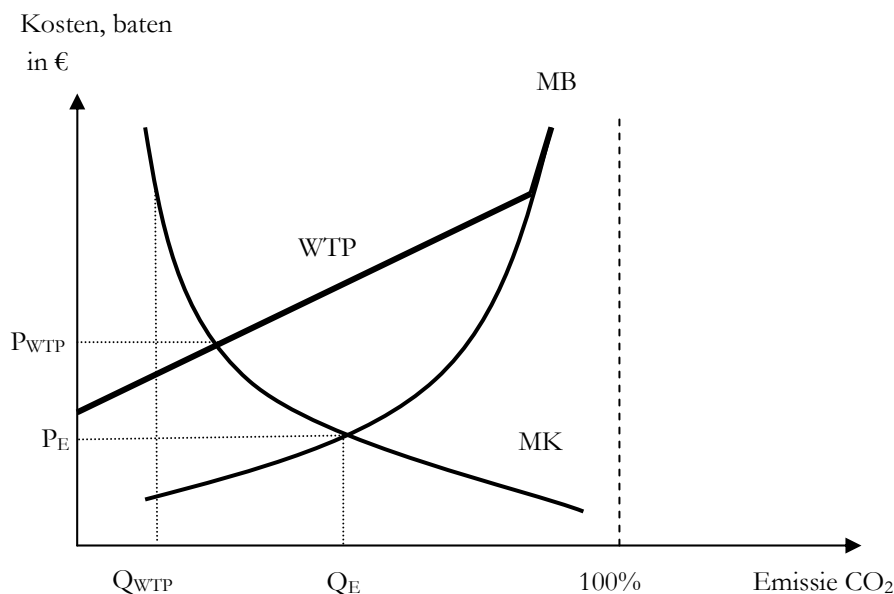
CO₂-prijs voor de projectalternatieven in het Blue Map scenario

Blue Map vertegenwoordigt een ander economisch klimaat dan BAU. Dit heeft gevolgen voor de maatschappelijke waardering van CO₂ in Blue Map. Figuur 4.6 laat zien hoe de CO₂-prijs volgens de economische theorie wordt afgeleid. De curven MB en MK geven respectievelijk de marginale baten en marginale kosten weer van emissiereductie. De marginale batencurve verloopt dalend, omdat we ervan uitgaan dat de maatschappelijke opbrengst van een additionele eenheid vermeden CO₂-emissie lager is naarmate het totale emissieniveau lager is. De marginale kosten van CO₂-reductie stijgen daarentegen omdat verdergaande reductie afhankelijker is van steeds duurdere reductieopties. De marktprijs voor CO₂ is P_E op basis van het evenwicht tussen de marginale kosten en de marginale baten van emissiereductie.

Dit rapport kiest voor een andere benadering van de waardering van CO₂-emissiereductie. Het economische model voor de waardering van emissies is geschikt voor stoffen en gassen die als stroomgrootte een directe relatie hebben met de maatregelen om emissies te verlagen: de concentraties van deze stoffen en gassen in de atmosfeer veranderen (min of meer) 1-op-1 met de inspanningen om de uitstoot te verminderen. Voor CO₂ geldt dit maar in beperkte mate. Hier is sprake van een voorraadprobleem. CO₂ zit van nature in de atmosfeer en maatregelen zijn er alleen op gericht om de voortgaande groei van de concentratie CO₂ af te remmen. Het is dus maar de vraag of de marginale batencurve zo sterk zal dalen, zoals afgebeeld in Figuur 4.6. Het ligt gezien de voortdurende hoge concentratie van CO₂ in de atmosfeer voor de hand dat de betalingsbereidheid van de samenleving voor CO₂-emissiereductie relatief hoog zal blijven. Deze betalingsbereidheid ("willingness to pay") is aangegeven met de dikke lijn WTP, die een hogere schaduwprijs van CO₂ kent dan de prijs P_E .

²⁷ O. Kuik, Maatschappelijke- en milieukosten van elektriciteitsvoorziening. Een notitie voor het Platform Duurzame Elektriciteitsvoorziening, IVM, 2007.

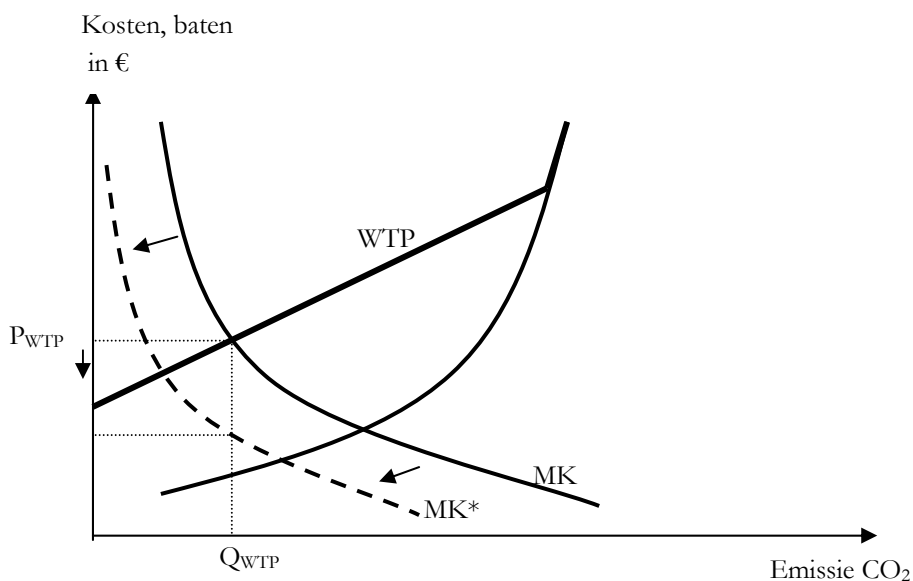
²⁸ Per jaar is dit een gemiddelde groei van 2,5% tussen 2020 en 2050.

Figuur 4.6 Prijs en maatschappelijke waardering van CO₂-emissiereductie

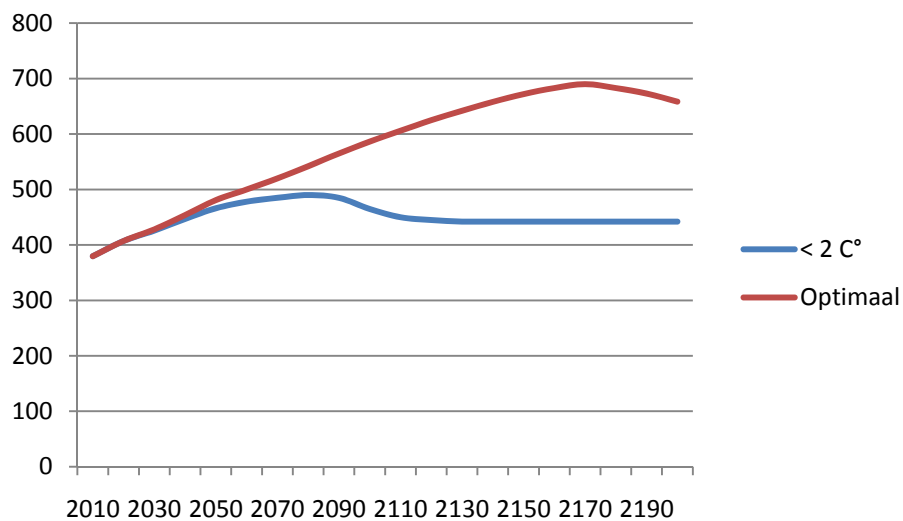
Economische studies zoals Nordhaus (2008) hanteren het economische model en komen daarom tot lagere CO₂-prijzen dan in deze KKBA-analyse. Nordhaus (2008) berekent de CO₂-prijs als endogene variabele van een model waarin ook de relatie tussen uitstoot en klimaatverandering expliciet is gemodelleerd. Nordhaus formuleert op basis van zijn analyse een optimale route voor reductie van de wereldwijde CO₂-emissies met een prijs van CO₂ die oploopt tot circa € 16 per ton in 2050 en € 40 voor de periode na 2100. Dit optimale programma beperkt de wereldwijde temperatuurstijging in 2100 tot circa 2,6 graden Celsius. Zijn boodschap is dat ambitieuzere klimaatprogramma's de CO₂-emissie te snel en te veel reduceren. De kosten van deze programma's zijn daarom volgens Nordhaus te hoog in relatie tot de baat in de vorm van vermeden klimaatschade.

Een bespreking van Nordhaus' analyse en andere studies op dit terrein valt buiten de reikwijdte van dit onderzoek. Van belang is de verklaring van het verschil tussen de WTP-prijs die centraal staat in deze KKBA-analyse en de marktprijs van CO₂ in studies zoals die van Nordhaus. Wel kan in Blue Map een andere WTP-prijs gelden dan in BAU. De verklaring hiervan is dat het nulalternatief in Blue Map al een flinke emissiereductie bereikt. Dit kan betekenen dat de maatschappelijke waardering voor verdergaande reducties in de projectalternatieven mogelijk anders is dan in BAU waar de rest van de wereld niet actief met het verminderen van uitstoot bezig is. De WTP-lijn daalt in dit geval. Maar ook als dit effect niet optreedt en de WTP gelijk blijft in Blue Map moeten we rekening houden met het effect van internationale samenwerking op de marginale kostencurve. Deze curve verschuift naar links omdat de kansen op technologische ontwikkeling en schaafeffecten toenemen, waardoor de verwachte maatschappelijke waardering van vermeden CO₂-emissie in Blue Map lager is dan in BAU. In ieder geval kan een gegeven niveau van emissiereductie nu tegen lagere marginale kosten worden gerealiseerd. Dit effect is zichtbaar in Figuur 4.7 door de verschuiving van MK naar MK*.

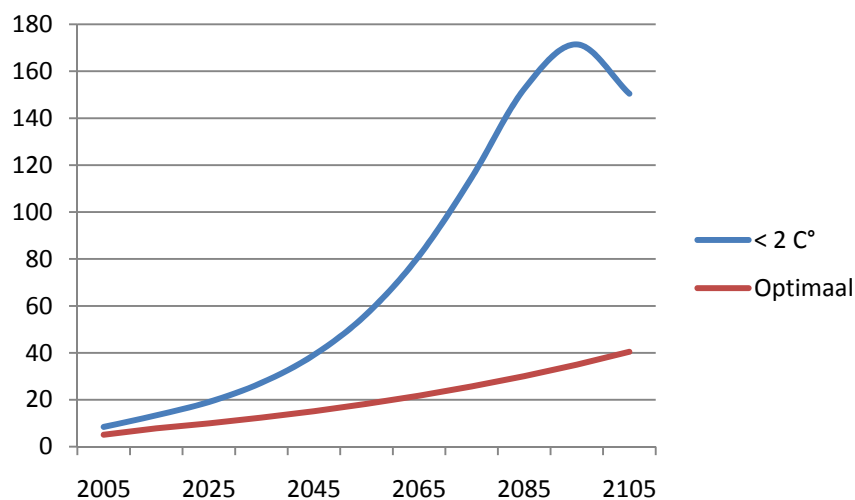
Figuur 4.7 Verschuiving marginale kostencurve veroorzaakt lagere waardering CO₂



Het precieze effect van de verschuiving van MK naar MK* is lastig te berekenen. Voor de projectalternatieven in Blue Map maken we daarom de vergelijking met een Nordhaus-scenario dat qua effecten sterk op Blue Map lijkt. Blue Map richt zich op beperking van de CO₂-concentratie in de atmosfeer tot 450 ppm ('parts per million') (IEA 2010). Dit streven komt overeen met een Nordhaus scenario dat de wereldwijde temperatuurstijging beperkt tot maximaal 2 graden Celsius. Het verschil met het optimale Nordhaus-scenario is aangegeven in Figuur 4.8. Het Blue Map of 450-ppm scenario houdt een beperking van de emissie in die veel steviger is dan het optimale scenario. Dit veroorzaakt een hogere CO₂-prijs dan in het optimale scenario, zoals weergegeven in Figuur 4.9. Om rekening te houden met de afwijking van de WTP-prijs in Blue Map wordt de baat van vermeden CO₂-emissies in de projectalternatieven Blue Map gewaardeerd tegen de Nordhaus prijs zoals berekend voor het scenario waarin de concentratie CO₂ beperkt blijft tot 450 ppm. Concreet betekent dit dat in Blue Map de waardering van CO₂ oploopt van € 11 per Mton in 2010 naar € 48 per Mton in 2050.

Figuur 4.8 Concentraties CO₂ in de atmosfeer in twee Nordhaus-scenario's (in ppm)

Bron: Nordhaus (2008), p. 103

Figuur 4.9 CO₂ prijs in twee Nordhaus-scenario's (in €/Mton)

Bron: Nordhaus (2008), p. 92

Waardering van overige emissies

De waarderingen voor andere emissies (dan CO₂) in 2020 worden in de KKBA voor transport ontleend aan CE (2008) en voor elektriciteitsproductie aan IVM/ExternE. Daarbij is ook een nieuwe publicatie van CE(2010)²⁹ van belang. Een vergelijking met CE (2008) is lastig omdat de publicatie uit 2010 alleen totaalcijfers geeft en de CE (2008) publicatie differentieert naar sector. Uit een vergelijking op hoofdlijnen blijkt dat de CE (2008) cijfers voor PM10 niet strijdig zijn met

²⁹ CE (2010), "Handboek Schaduwprijzen - Waardering en weging van emissies en milieueffecten", Delft.

de CE (2010) cijfers. Voor NO_x, NMVOS en SO₂ liggen de CE cijfers uit 2010 echter hoger dan de hoogste cijfers in de KKBA. Deze hoogste cijfers betreffen de transportsector en zijn ontleend aan CE (2008). Tegen deze achtergrond zijn de waarderingen van NO_x, NMVOS en SO₂ in 2020 in de transportsector met 50% verhoogd in de KKBA. Na deze aanpassing is de inconsistentie met de CE (2010) cijfers verdwenen.

De CE publicatie uit 2010 beveelt aan (p. 95) om de waarderingen van emissies in de tijd op te hogen met een inkomenselasticiteit van 0,85 (behalve CO₂: dat kent een eigen tijdpad). Bijvoorbeeld bij 2% BBP-groei nemen de waarderingen met 1,7% per jaar toe. In lijn hiermee is in de KKBA in de jaren na 2020 de BBP-elasticiteit van 0,85 gebruikt om de waarderingen te verhogen.

Het argument dat gebruikt is om de CO₂-waardering in Blue Map aan te passen geldt ook voor de niet-broeikasgassen. Voor de emissies die gecorreleerd zijn met de uitstoot van CO₂ is de waardering aangepast door de BAU-prijs overeenkomstig de verandering van de CO₂-prijs te verlagen.³⁰ Deze wijziging is toegepast op NMVOS, SO₂ en NH₃. Voor fijn stof (PM10) en NO_x voeren we deze aanpassing niet door. Dit zijn stoffen waarvan het effect vooral via de stroom wordt veroorzaakt. Zo wordt de uitstoot van NO_x voor een groot deel door het verkeer veroorzaakt. Er is dus geen sprake van een voorraadprobleem dat overeenkomstig de waardering van CO₂ om aanpassing vraagt.

³⁰ Concreet is de helft van de procentuele wijziging van de CO₂ prijs toegepast.

Tabel 4.2 Waarderingen voor emissies van CE en IVM in 2020

| Stof | CE (2008) | | IVM/ ExternE | KKBA | |
|---------------------------------|---------------------------|------------------|--------------------|------------------|-------------------|
| Scenario | Global Economy | Strong Europe | ? | BAU-scenario | Blue Map |
| | Euro's per ton, 2020 | | | | |
| CO ₂ | | 40 | 38-76 | 76 | 16,3 |
| | Euro's per kilogram, 2020 | | | | |
| PM2,5 (transport) | 131-670 | 115-587 | - | 400 ^b | 350 ^b |
| PM10 (transport) | 52-268 | 46-235 | - | 150 ^b | 140 ^b |
| PM10 (elektriciteit) | 21-26 | 19-23 | 13,08 ^a | 13,08 | 13,08 |
| NOx (transport) | 10 | 9,2 | - | 15 | 13,8 |
| NOx (elektriciteit) | - | - | 3,74 ^a | 3,74 | 3,74 |
| NMVOS (transport) | 3,0 | 2,7 | | 4,5 | 1,7 ^c |
| NMVOS (elektriciteit) | | | 0,79 ^a | 0,79 | 1,7 ^c |
| SO ₂ (transport) | 20 | 18 | | 30 | 10,2 ^c |
| SO ₂ (elektriciteit) | | | 3,55 ^a | 3,55 | 10,2 ^c |
| NH ₃ | | | | 34,6 | 18,5 ^c |

^a SEO berekening o.b.v. Kuik (2007), Appendix 1, tabel "Poederkool" (p. 35). Andere tabellen in deze appendix bevatten (nagenoeg) dezelfde waarden.

^b Gemiddelde van de CE bandbreedte; afgerond op tientallen.

^c Gemiddelde prijs van de sectoren.

Bron: CE, IVM, SEO

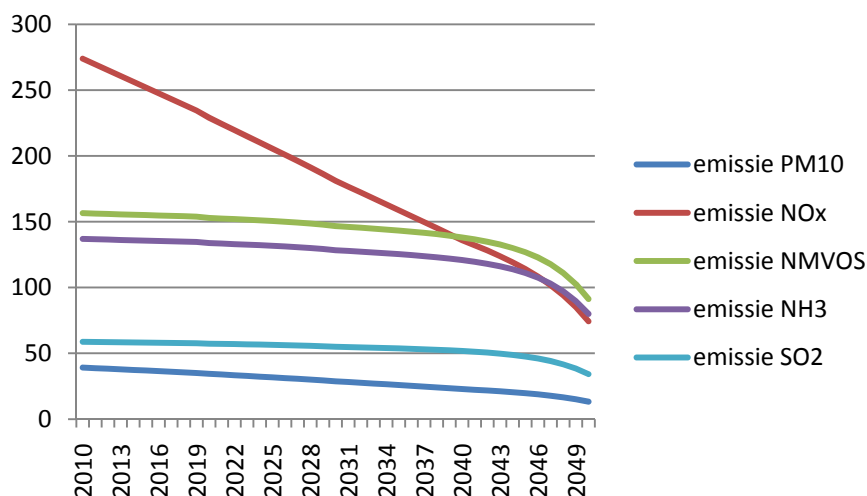
Ontwikkeling volumes overige emissies

De volumes van de overige emissies kennen een eigen tijdspad qua ontwikkeling. De emissies van zwaveldioxide worden vooral veroorzaakt door de energiesector, de chemie en raffinaderijen. Gerichte aanpak van deze bronnen heeft de uitstoot in het verleden al flink verminderd. Stikstofoxiden hebben vooral het verkeer als bron. Voor ammoniak is de landbouw veruit de belangrijkste bron. Fijn stof wordt ook uitgestoten in het verkeer en daarnaast in de industrie en de landbouw.

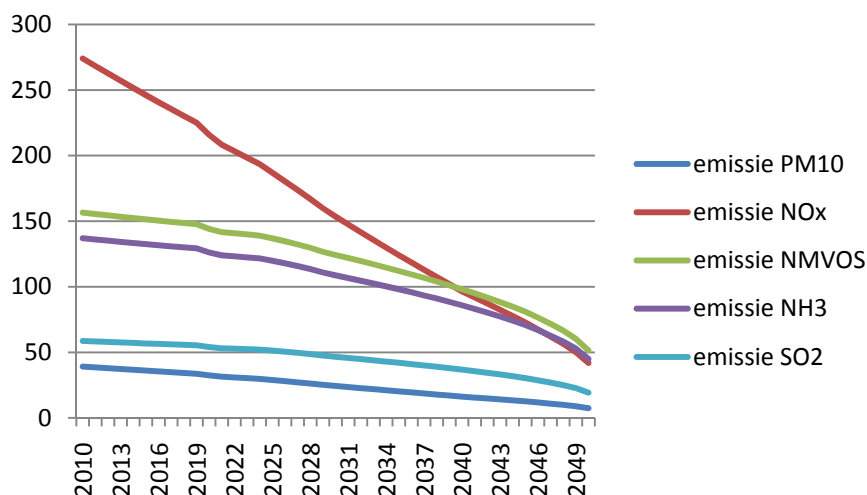
Voor de ontwikkeling van deze emissies sluiten we aan bij de analyses van de WLO-scenario's. Dit betekent dat de nulalternatieven de veranderingen in de volumes overnemen van respectievelijk de *Global Economy* en *Strong Europe* scenario's. Figuur 4.10 geeft als voorbeeld de situatie voor het nulalternatief Blue Map. Voor de ontwikkeling in de projectalternatieven zijn de overige emissies via een verhoudingsgetal gekoppeld aan de emissie van CO₂. Figuur 4.11 geeft bij wijze van voorbeeld de ontwikkeling weer voor het projectalternatief fossiel in Blue Map. Het verschil tussen de emissies in projectalternatief en nulalternatief vormt de vermeden emissie, die als baat in de saldotabel van de KKBA is opgenomen. In Bijlage B zijn figuren opgenomen voor de ontwikkeling van de overige emissies in BAU.

Er is niet verondersteld dat specifiek beleid wordt gevoerd voor de vermindering van de overige emissies. Dit betekent dat de kosten van deze reducties zijn onderschat. Ze worden in feite beschouwd als het bijproduct van de reductie van CO₂. In de praktijk wordt wel beleid gevoerd specifiek gericht op het verminderen van niet-broeikasgassen. Denk bijvoorbeeld aan het verminderen van fijn stof in het verkeer via roetfilters of het verminderen van de ammoniakuitstoot door het verbod op het uitrijden van dierlijke mest. Door deze kosten niet te expliciteren is de baat overige emissies in deze KKBA een overschatting van het daadwerkelijke effect.

Figuur 4.10 Overige emissies in het nulalternatief Blue Map (in kton)



Figuur 4.11 Overige emissies in het projectalternatief fossiel in Blue Map (in kton)



Resultaten KKBA

De externe effecten blijken in de KKBA de belangrijkste baat. Volgens Tabel 1.1 is de waarde van de vermeden emissie van CO₂ in BAU circa € 175 tot 183 miljard en in Blue Map circa € 13

tot 15 miljard. Dit verschil wordt verklaard door de lagere vermeden emissie in Blue Map. In dit scenario overbruggen de projectalternatieven het verschil tussen 50% en 80% emissiereductie, omdat het nulalternatief al tot 50% reductie van de CO₂-emissie leidt. Ook is de vermeden emissie gewaardeerd tegen een lagere schaduwprijs van CO₂, conform de berekeningen van Nordhaus. De waarde van de overige emissies is lager, maar draagt met circa € 12 tot 18 miljard (Blue Map) en circa € 61 tot 66 miljard (BAU) in positieve zin toch flink bij aan het maatschappelijke saldo.

4.2 De kosten van energietransitie

4.2.1 Kosten van energiebesparing

Besparingen in de verschillende sectoren komen tot stand door middel van investeringen in energie efficiëntie. Opties die snel en ten opzichte van de kosten veel besparingen teweeg brengen zullen als eerste uitgevoerd worden. De besparingsopties worden daardoor in de loop van de tijd steeds duurder per bespaarde eenheid energie. In het BAU scenario, waarin ruim 2.000 PJ wordt bespaard, lopen de totale kosten op tot bijna € 14 miljard in 2050. Om de besparing van 2.053 PJ in 2050 te realiseren moet over de gehele periode € 59 à € 177 miljard worden geïnvesteerd. De totale energiebesparing in het Blue Map scenario bedraagt bijna 630 PJ. De totale kosten voor besparing liggen daardoor een stuk lager in het Blue Map scenario. De totale investeringen in het Blue Map scenario bedragen € 19 à € 58 miljard (zie Figuur 4.12).

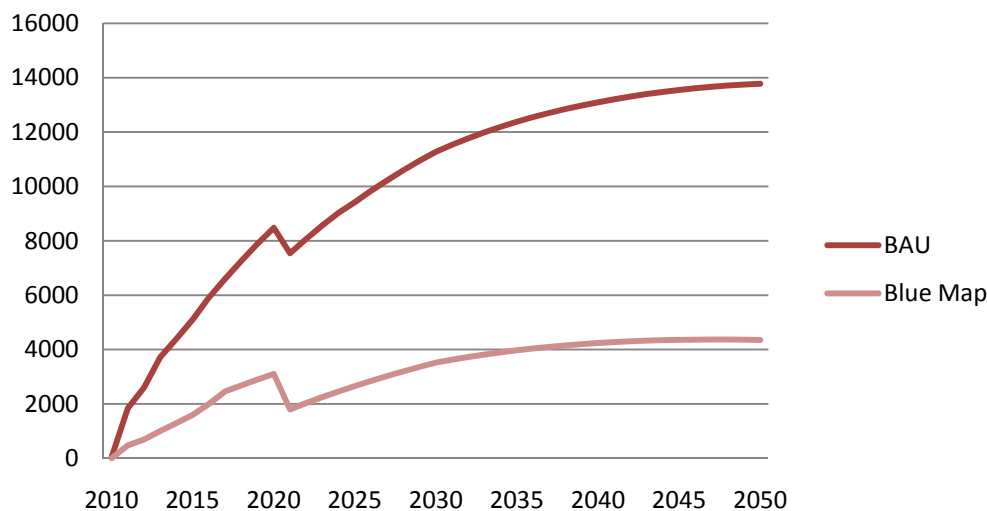
De kosten van energiebesparing per peta joule liggen hoger in het Blue Map scenario vergeleken met het BAU-scenario. In het Blue Map scenario vindt er namelijk al energiebesparing plaats en zijn de goedkoopste opties reeds in het nulalternatief toegepast. De resterende besparing moet dan gerealiseerd worden met behulp van duurdere maatregelen. Een kostenvoordeel wordt behaald door de internationale samenwerking in het Blue Map scenario waardoor de kosten van energiebesparingsopties waarschijnlijk lager zijn dan in het BAU-scenario. Dit rapport veronderstelt dat dit kostenvoordeel per saldo niet opweegt tegen de stijging van de marginale kosten van energiebesparing.

Figuur 4.12 toont het verloop van de totale kosten per jaar voor zowel het BAU als Blue Map scenario. De kink in de figuur komt door de invoering van een vorm van beprijzen van mobiliteit in 2021 (Verkeer en Waterstaat, 2009). In tegenstelling tot de overige besparingen vindt bij de beprijzing van mobiliteit geen geleidelijke invoering plaats. Binnen de gebouwde omgeving worden bijvoorbeeld langzaam de regels aangescherpt voor energiegebruik van gebouwen. De maatregel van beprijzing treedt echter geheel in werking in 2021. De beprijzing zorgt voor minder gereden kilometers en dus extra besparing op brandstof. Kosten van beprijzing zijn lager dan van andere besparingsopties, waardoor na de invoering van beprijzing de kostencurve omlaag schuift.

Goedkope besparingsopties zullen als eerste geïmplementeerd worden, waardoor de kosten per bespaarde peta joule over de tijd toeneemt. Dit effect komt terug in de stijgende lijn van de totale kosten in Figuur 4.12. Het zelfde effect is goed te zien in de kosten per vermeden ton CO₂-emissie. Figuur 4.13 toont de kosten van vermeden emissie in euro tot 2050 in het BAU scenario. In 2010 bedragen de kosten € 500 en lopen op tot € 4.500 in 2050. De gepresenteerde kosten zijn

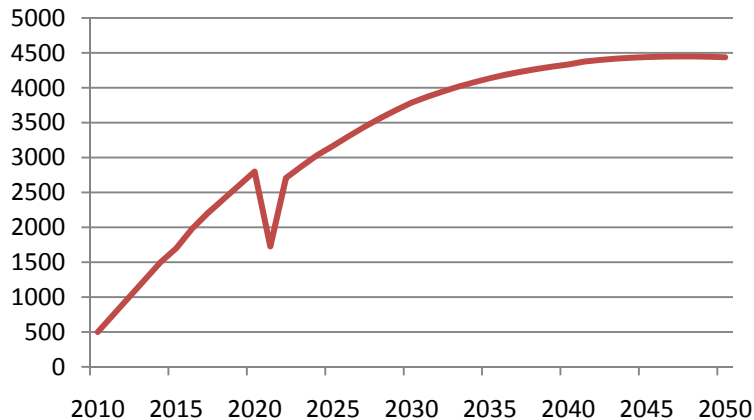
bruto kosten, er is dus geen rekening gehouden met enige baten. In die zin kan Figuur 4.12 niet direct vergeleken worden met de netto kostenplaatjes uit andere studies zoals de IEA (2009) en ECN (2006) waarin besparingsopties in het begin negatieve kosten hebben.

Figuur 4.12 Totale kosten energiebesparing per jaar, in miljoenen euro



Bron: SEO Economisch Onderzoek

Figuur 4.13 Kosten van energiebesparing per vermeden ton CO2 in euro, BAU scenario



Bron: SEO Economisch Onderzoek

Rapporten met daarin gegevens over de kosten van verschillende besparingsopties zijn beperkt. Veel rapporten beschrijven enkel het besparingspotentieel, zoals de recent uitgevoerde studie naar het 'Potentieel voor Besparing en Efficiency van Energiegebruik in Nederland' (Hamelink et al., 2010). In overige studies waar wel expliciet een afweging wordt gemaakt tussen de baten en kosten van besparingen wordt vaak alleen de netto marginale kostencurve weergegeven, waaruit de bruto kosten van de besparingsopties niet zijn af te leiden.

Waar beschikbaar zijn schattingen van de platforms gebruikt voor het invullen van de kosten van de besparingsopties. De kosten voor het opzetten van het clearinghouse systeem zijn bijvoorbeeld geschat op € 1,4 miljoen in de eerste twee jaar, en daarna € 1,2 miljoen per jaar voor onderhoud van het systeem. Voor de kosten in de gebouwde omgeving is gebruikgemaakt van de studie 'Energiebesparing in de gebouwde omgeving' (Van der Noll et al., 2010). Hierin zijn de kosten van besparingsopties doorgerekend om tot 100 PJ besparing in 2020 te komen. Deze kosten zijn teruggerekend naar een bedrag per PJ, en vervolgens toegepast op het besparingspad. Daarbij is de lopende trend doorgetrokken naar de toekomst.

De *Energy Technology Perspectives 2010* van de IEA bevat eveneens gegevens over de kosten. Voor de industriesector voorziet de IEA een wereldwijde besparing van 5.1 Gton CO₂-emissie in 2050. Dit is het verschil in uitstoot tussen het Referentie en Blue map scenario. Om deze besparing te realiseren moet er tussen de US \$ 2.000 en 2.500 miljard worden geïnvesteerd. Omgerekend naar kosten per ton CO₂ is dit \$ 392. De kosten per ton CO₂ in de KKBA liggen met € 970 per ton CO₂ een stuk hoger. De relatief hogere kosten voor energiebesparing in dit onderzoek worden verklaard doordat het laaghangend fruit op dit terrein in Nederland inmiddels is benut, bijvoorbeeld door de meerjarenaafspraken met het bedrijfsleven. In andere landen van de wereld valt op het gebied van energiebesparing nog veel vooruitgang te boeken tegen relatief lagere kosten dan in Nederland.

Tabel 4.3 Kosten van energiebesparing per platform in het BAU-scenario 2010-2050 in miljoenen euro

| <i>In miljoenen euro per jaar</i> | 2010 | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 |
|-----------------------------------|------|------|-------|-------|-------|
| <i>Gebouwde omgeving</i> | 0 | 3053 | 4429 | 6918 | 8630 |
| <i>Ketenefficiency</i> | | | | | |
| proces intensificatie | 0 | 311 | 387 | 362 | 300 |
| symbiose en restwarmte | 0 | 156 | 194 | 181 | 150 |
| clearing house | 0 | 1 | 1 | 1 | 1* |
| precisie landbouw | 0 | 20 | 32 | 38 | 40* |
| WKK industrieel | 0 | 923 | 905 | 437 | 175* |
| overige Industrie | 0 | 1556 | 1936 | 1808 | 1500 |
| <i>Duurzame elektriciteit</i> | | | | | |
| WKK huishoudens | 0 | 466 | 865 | 406 | 162 |
| <i>Duurzame mobiliteit</i> | | | | | |
| slimmer transport | 0 | 617 | 1030 | 1290 | 1436 |
| efficiëntere motoren | 0 | 411 | 687 | 860 | 958 |
| ABvM | 0 | 761 | 615 | 615 | 615 |
| <i>Kas als energiebron</i> | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| TOTAAL | 50 | 8325 | 11131 | 12965 | 13780 |

Bron: SEO Economische Onderzoek

* Onder voorbehoud: nadere controle is nodig

Besparingskosten per platform

De belangrijkste bron van besparing is de gebouwde omgeving. In 2050 wordt daar bijna 900 PJ energie bespaard. De besparing brengt grote kosten met zich mee in de vorm van investeringskosten in energiezuiniger gebouwen. Vooral het energiezuiniger maken van bestaande bouw kost veel geld. Het door middel van regelgeving langzaam opschroeven van de normen zorgt voor een geleidelijke besparingstrend en bijbehorend kostenplaatje. De methoden voor energiebesparing in de gebouwde omgeving zijn zeer divers en relatief goed onderzocht. Op basis van informatie over de besparingspotentie en kosten van maatregelen is door McKinsey een rekenmodel ontwikkeld voor het doorrekenen van de effecten van verschillende specifieke maatregelen voor energiebesparing. De studie 'Energiebesparing in de gebouwde omgeving' (Vvan der Noll et al. 2010) bouwen voort op die modellen en berekenen de kosten om zo kosteneffectief mogelijk tot 100 PJ besparing te komen in 2020. Deze schatting is in dit onderzoek gebruikt om de kosten van energiebesparing in de gebouwde omgeving ook voor de latere periodes te schatten.

Volgens recent onderzoek is er veel energiebesparing in de Nederlandse industrie mogelijk (Harmelink et al, 2010). Het platform Ketenefficiency draagt een aantal mogelijkheden aan voor besparing binnen de industrie. Daarbij is voor clearinghouse ook een kostenschatting gemaakt. Voor een benadering van de kosten voor de overige posten is gebruikgemaakt van IEA 2010, hoofdstuk *Industry*. Hierin wordt een totaal aan investeringskosten en te realiseren besparing weergegeven.

De kosten voor energiebesparing door middel van het toepassen van WKK zijn gebaseerd op IEA (2010) waarbij gekeken is naar de kosten van WKK als productiemiddel van energie en de hoeveelheid toegerekende energiebesparing. De meerkosten bij WKK zitten met name in de installatie- en onderhoudskosten. De kosten dalen over de tijd door een afnemende rol van WKK in de productiemix.

In 2016 wordt begonnen met het invoeren van beprijzing van mobiliteit. De initiële investeringskosten van beprijzing van mobiliteit zijn geraamd op € 3.805 miljoen over de eerste vijf jaar. Onderhoud van het systeem kost daarna ongeveer € 615 miljoen per jaar (Verkeer en Waterstaat, 2009). De kosten voor het ontwikkelen en gebruik van efficiëntere motoren komen voor een deel terug in de berekeningen IEA (2009). De kosten van slimmer transport zijn geschat op basis van de verhouding tot de overige besparingsposten.

De kosten van energiebesparing in de glastuinbouw zijn geraamd op € 50 miljoen per jaar. Een deel van dat bedrag komt terecht bij het onderzoek naar ontwikkelen en toepassen van nieuwe technieken en het overige deel dient als investeringskosten (Platform De kas als energiebron, Jaarplan 2010). De energiebesparing in de glastuinbouw loopt op tot 50 PJ in 2050.

4.2.2 Productiekosten van de energiemix

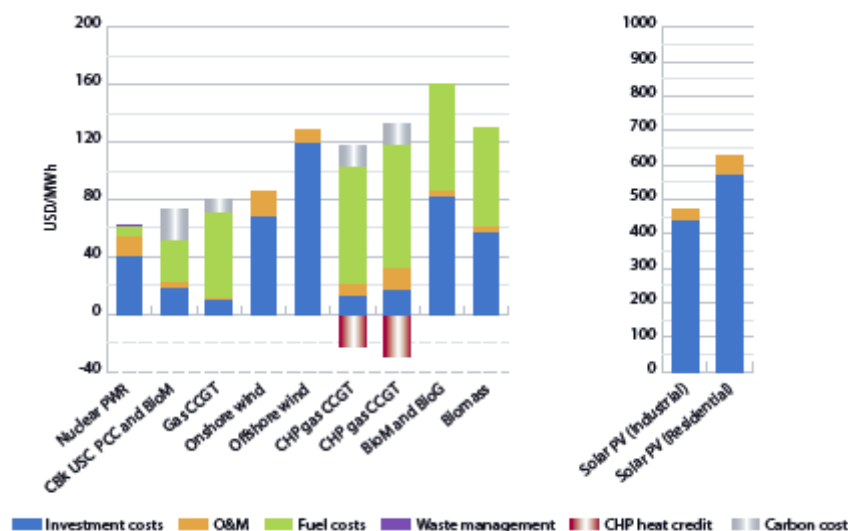
Duurzame elektriciteit

De kosten voor de productie van duurzame elektriciteit zijn vooral gebaseerd op IEA (2010), *Projected Costs of Generating Electricity* en deels op IEA (2009), *Power Generation in the 450 Scenario*. Figuur 4.14 geeft de gegevens voor Nederland op basis van de 'levelized costs of electricity' (LCOE). Dit is de prijs die de producent gemiddeld nodig heeft om breakeven te draaien. Hierbij

is rekening gehouden met kapitaalkosten, exploitatiekosten, brandstofkosten en de kosten van CO₂-emissie gewaardeerd tegen een CO₂-prijs van \$30 per ton. De kosten en opbrengsten over de levensduur zijn netto contant gemaakt tegen een discontovoet van 5%.

De gegevens uit IEA (2010) en IEA (2009) zijn vertaald naar een integrale kostprijs per PJ ('Levelized Cost of Electricity', zie voor een toelichting ECF, 2010, p. 68). Deze kostprijs is opgebouwd uit kapitaalkosten, operationele kosten, onderhoudskosten en eventuele brandstofkosten. Doordat de kosten zijn samengevoegd in een netto contante waarde wordt in de KBA minder goed zichtbaar dat 'de kost voor de baat uitgaat'. Met name bij investeringen in duurzame bronnen die in plaats komen van gas- of kolencentrales wordt in de jaren na de investering brandstof bespaard. In de variant met 'duurzame discontering' (disconteringsvoet 1%) leidt het samenvoegen van huidige en toekomstige kosten en baten van een investering, met een disconteringsvoet van 5%, bovendien tot een onderschatting van de totale baten.

Figuur 4.14 Productiekosten elektriciteit, discontovoet 5%



Bron: IEA (2010), p. 68.

In de ontwikkeling van de kostencurven is rekening gehouden met verwachte leereffecten die leiden tot kostprijsdalingen. Deze leereffecten zijn vooral ontleend aan IEA (2009) en geëxtrapoleerd voor de periode 2030-2050 (Tabel 4.4). De leercurven worden mondiaal bepaald en hebben een flink potentieel voor kostenreductie. De leercurven bepalen mede de concurrentiepositie van de hernieuwbare bronnen ten opzichte van de kostprijs van elektriciteit op basis van een kolencentrale. Bij deze kostprijs is rekening gehouden met de aankoop van CO₂-emissierechten. De onzekere factoren bij de vergelijking zijn de ontwikkeling van de CO₂-emissieprijs en de snelheid waarmee technologische innovaties tot stand komen ('leereffecten').

Voorts zullen de kapitaalkosten van windenergie en zon-PV naar verwachting verder dalen met het groeien van de capaciteit, omdat het gemiddeld aantal vollasturen stijgt als gevolg van een betere spreiding van de capaciteit en technologische verbetering die toename van het capaciteitsverbruik mogelijk maakt (IEA, 2009). Zo loopt de capaciteitsfactor van zon-PV naar

verwachting op van 10% in 2010 tot 12% in 2030 en, bij veronderstelling, tot 15% in 2050. Voor onshore windenergie loopt de capaciteitsfactor op van 21% in 2010 tot 24% in 2050. Offshore windenergie laat de grootste groei van de capaciteitsfactor zien; van 33% in 2010 tot 46% in 2030 en daarna een veronderstelde afvlakkende groei naar 50% in 2050. Het effect van deze oplopende capaciteitsfactoren is eveneens meegenomen in de ontwikkeling van de kostprijzen.

Tabel 4.4 Leereffecten duurzame energiebronnen

| | 2010-2020 | 2020-2030 | 2030-2040 | 2040-2050 |
|--------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| onshore wind | 10% | 5% | 5% | 5% |
| offshore wind | 15% | 15% | 10% | 5% |
| zon-PV | 15% | 15% | 15% | 15% |
| biomassa bijstook | 5% | 5% | 5% | 5% |
| kolen CCS | 4,5% | 4,5% | 4,5% | 4,5% |
| gas CCS | 3% | 3% | 3% | 3% |
| vergisting | 5% | 5% | 5% | 5% |
| vergassing | 5% | 5% | 5% | 5% |
| elektrisch vervoer | 5% | 5% | 5% | 5% |
| biobrandstof | 5% | 5% | 5% | 5% |
| waterstof | 5% | 5% | 5% | 5% |
| microalgen | 5% | 5% | 5% | 5% |
| zeewieren | 5% | 5% | 5% | 5% |
| biofeedstock | 5% | 5% | 5% | 5% |

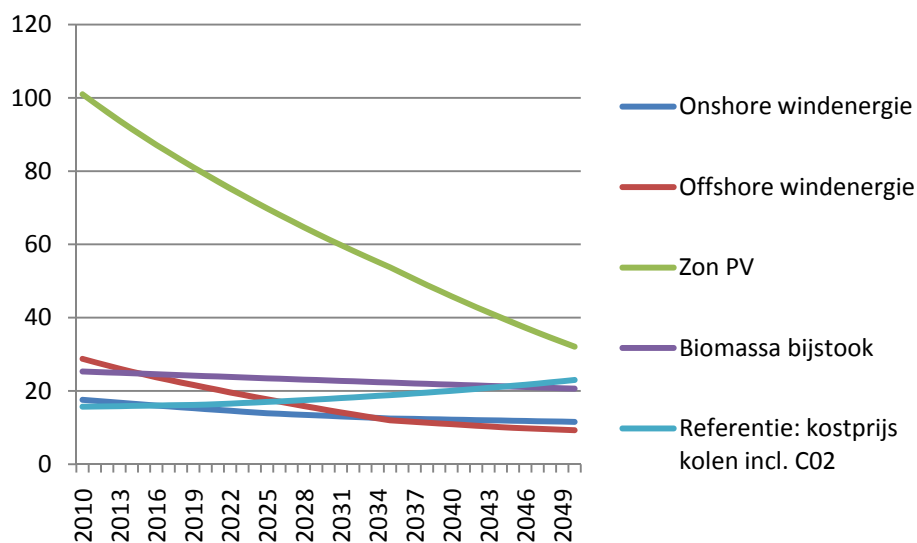
De resulterende kostprijzen hebben echter betrekking op de nieuwste technologie en representeren niet de gemiddelde kostprijs van productie op dat moment. Immers, de bestaande productiecapaciteit wordt niet onmiddellijk en in zijn geheel vervangen door installaties die produceren tegen de kostprijs van de nieuwste technologie. Dat gebeurt geleidelijk. De actuele gemiddelde kostprijs is derhalve een gewogen mix van kostprijzen van verschillende technologieën. Om dit effect mee te wegen ‘verschuiven’ we de kostencurven vijf jaar in de tijd. Op die manier veronderstellen we dat de gemiddelde leeftijd van de productiecapaciteit op enig moment vijf jaar is. Vanwege de flinke voorziene groei in de capaciteit van duurzame energiebronnen lijkt het plausibel te veronderstellen dat de gemiddelde leeftijd lager ligt dan de helft van de levensduur.

Een en ander resulteert in de in Figuur 4.15 getoonde kostencurven. Ter referentie is in de figuur de kostencurve van conventionele kolenproductie getoond inclusief de kosten van CO₂-emissie. Het beeld is voor alle duurzame elektriciteitsbronnen gelijk: dalende kosten per PJ. Met name de kostprijzdalingen van zon-PV en windenergie op zee zijn daarbij spectaculair. Daarbij moet worden aangetekend dat de situatie voor zon-PV genuanceerd ligt en afhankelijk is van de toepassing. Toepassing van zon-PV bij huishoudens kan het best vergeleken worden met de consumentenprijs. Hier wordt zon-PV volgens Schoots (2010) al rond 2021 rendabel; voor utiliteitsgebouwen rond 2029 (kleinzakelijke markt). Voor grootschalige opwekking met Zon-PV is de groothandelsprijs de relevante benchmark en is een breakeven punt volgens Schoots niet voor 2040 te verwachten, tenzij de technologische ontwikkeling sneller verloopt dan thans

voorzien. Volgens de huidige verwachtingen zijn zon-PV en vergassing in 2050 nog niet rendabel inzetbaar, afgezet tegen conventionele kolen.

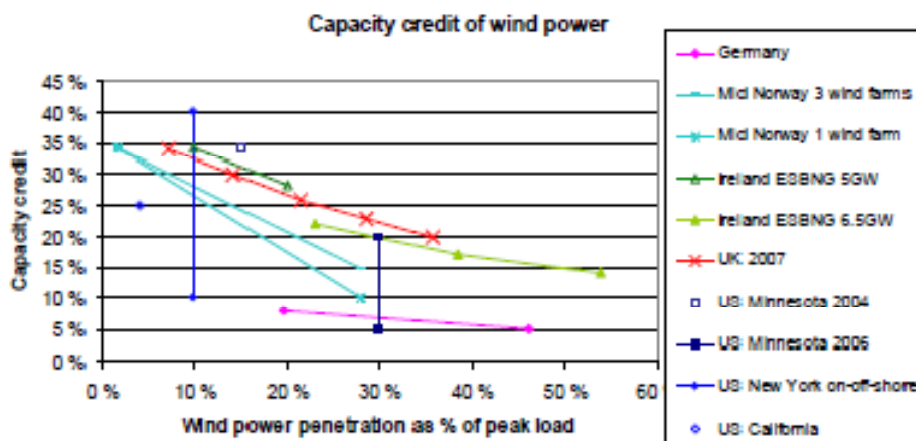
De rentabiliteit van de optie Bijstook ('Thermische conversie van biomassa voor elektriciteit') wordt mede bepaald door het effect van de brandstofprijzen. Grootschalige toepassing van deze optie heeft een prijsopdrijvend effect op de brandstof. Het gaat dan om de prijzen van het cosubstraat en de prijs van de verwerking van het digestaat. De prijsverhogingen hiervan compenseren voor een deel de kostendalingen door leer- en schaaffecten.

Figuur 4.15 Kostencurven productiekosten hernieuwbaar, in € mln per PJ



Kan een elektriciteitssysteem functioneren met een productieaandeel van 55% voor bronnen die afhankelijk zijn van wind en zon? De inzet van dergelijke fluctuerende bronnen verhogen de systeemkosten voor het bewaken van de balans tussen vraag en aanbod in het netwerk, maar zijn in theorie niet onwerkbaar. Er kan een probleem optreden met het bedienen van de piekvraag als zon en wind op het moment van de piekvraag onvoldoende productie leveren. Omgekeerd bestaat de kans dat de productie onvoldoende vraag ontmoet, ook niet via export. De 'capacity credit' geeft aan de mate waarin windenergie een bijdrage kan leveren aan het bedienen van de piekvraag. De capacity credit is hoog als de productie van windenergie positief gecorreleerd is met de piekvraag. Figuur 4.16 vergelijkt de berekeningen van verschillende studies. Hieruit blijkt dat de capacity credit varieert van 5% tot 40% afhankelijk van de vraagcondities en de plaatsgebonden condities voor windenergie.

Figuur 4.16 Capacity credit van windenergie



Bron: Holtinnen et al (2009), p. 6.

De betekenis van Figuur 4.16 is dat het nodig kan zijn om extra capaciteit te installeren voor het opvangen van de piekvraag. Dit is afhankelijk van de grootte van de capacity credit. Is de credit laag dan is het nodig om te investeren in extra capaciteit. Holtinnen et al (2009) concluderen dat dit kostenefficiënt moet gebeuren, bij voorkeur via gascentrales. Dit komt overeen met de visie van het regieorgaan op de transitie naar een duurzame energiehuishouding waarbij gascentrales voor balans in het elektriciteitssysteem moeten zorgen. Gascentrales zijn relatief goedkoop en kunnen eventueel gebruikmaken van hernieuwbare energiebronnen zoals biogas. Alternatieven zijn de regulering van de vraag via het afschakelen van 'load' (via het verhandelen van 'interruptible contracts') of het reguleren van load via 'slimme netten' waarbij de eindgebruiker inzicht krijgt in de 'real time' kosten van zijn energieconsumptie. Dit versterkt de keuze om de energieconsumptie terug te schroeven op het moment dat de prijs het hoogst is, bijvoorbeeld in tijden van piekvraag met een beperkt aanbod van (wind-)energie. Gezien de onzekerheid van de capacity credit voor windenergie en de afhankelijkheid van de credit van lokale condities, is bij de berekening van de productiekosten in dit onderzoek geen rekening gehouden met mogelijke kosten van netverzwaring en/of extra reservecapaciteit.

Schoon fossiel als bron van elektriciteit

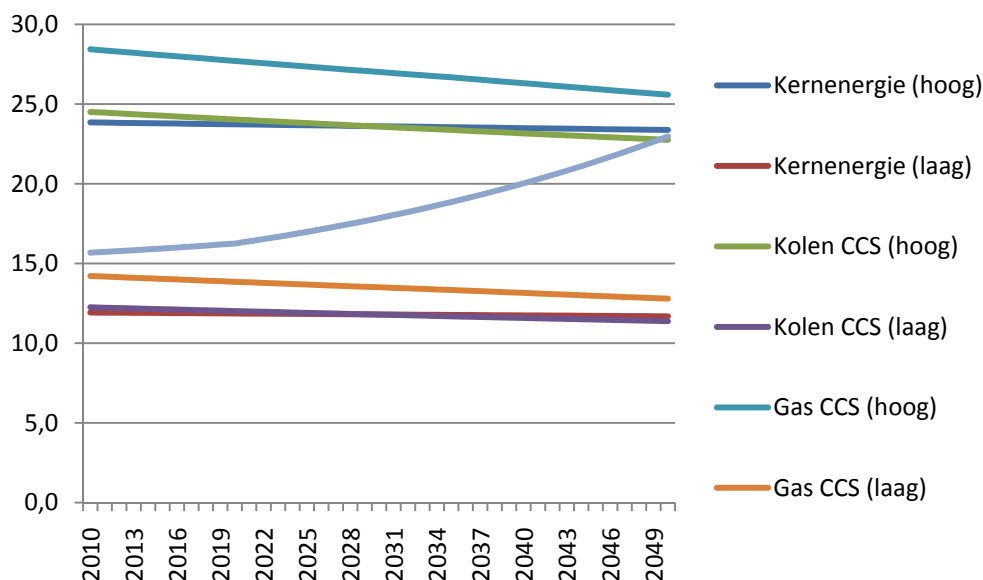
De ontwikkeling van CCS is met zeer veel onzekerheid omgeven. Op dit moment is nog veel onduidelijk omtrent de inzetbaarheid van CCS in de energieopwekking in de (nabije) toekomst. Dit heeft ook zijn weerslag op de kosten van CCS, die moeilijk in te schatten zijn. Om deze onzekerheid zichtbaar te maken in de MKBA hanteren we een bandbreedte in de kostprijscurven van elektriciteitsopwekking met kolen en gas met CCS. We gaan daarbij aan de bovengrens uit van 100% hogere kostprijzen dan aan de ondergrens. In Figuur 4.17 is deze bandbreedte weergegeven.

CCS zit op dit moment in de fase van demonstratieprojecten die binnen vijf jaar operationeel kunnen zijn. De verwachting voor dit scenario is dat de ontwikkeling van CCS voorspoedig verloopt en dat de productiekosten van schoon fossiel via CCS de exploitatie op termijn rendabel maken. Figuur 4.17 laat zien dat dit perspectief bestaat. De productiekosten van CCS worden op termijn vergelijkbaar met de elektriciteitsprijs van een kolencentrale, inclusief de aankoop van

CO₂-emissierechten. Deze prijs loopt op, omdat de CO₂-emissieprij naar verwachting stijgt (van circa € 10/Mton naar € 76/Mton in 2050). Afhankelijk van de technologische ontwikkeling en de toepassing van het emissiehandelssysteem ontvangen energieproducenten een marktconforme prikkel voor toepassing van CCS: ze kunnen kiezen, of de CO₂-prijs betalen of investeren in CCS. Ook is er nog ruimte voor verlaging van de investeringskosten door innovaties. Schoots (2010, p. 52) merkt op dat CCS als technologie nog jong is. Er is naar verwachting nog veel leerpotentieel voor deze technologie die nu niet in de kostencurven verwerkt zit. Voor CCS zit de kostendaling vooral in het reduceren van het netto omzettingsverlies bij toepassing van CCS.

De investeringskosten van kernenergie kenmerken zich eveneens door onzekerheid zoals de lijnen kernenergie ‘hoog’ en ‘laag’ aangeven. De curven geven aan dat de investeringsprijken in kernenergie marktconform zijn, afhankelijk van de onzekerheid in de kostenontwikkeling.

Figuur 4.17 Kostencurven productiekosten fossiel, in € mln per PJ



Groene grondstoffen

Uit het werkprogramma van het Platform Groene Grondstoffen zijn drie onderdelen in de projectalternatieven verwerkt. Dit betreft:

- *Innovatief gebruik van groene grondstoffen (biofeedstocks)*: In Nederland is de chemie de grootste industriële gebruiker van fossiele grondstoffen. Doel van dit transitiepad is de overgang naar groene grondstoffen te stimuleren waarbij via innovatieve toepassingen verduurzaming van bestaande producten en processen in de chemie mogelijk worden.
- *Microalgen*: Microalgen vormen een bron van natte biomassa met verschillende toepassingen. Ze worden gekweekt in fotobioreactoren (open of gesloten vijvers) met een opbrengst van circa 30 ton per hectare. Biomassa uit microalgen vormt een veelzijdige grondstof voor de winning van energiedragers en chemicaliën.

- *Zeevieren*: Zeewieren zijn een andere vorm van natte teelt van biomassa met een vergelijkbaar toepassingsbereik. Zeewierteelt kan goed worden gecombineerd met windmolenparken op zee.

Energiepotentieel en reductie van CO₂

Het potentieel van biofeedstocks is lastig in te schatten omdat de meeste technologieën nog niet commercieel worden geëxploiteerd. Wit, de Bruyn e.a. (2003) hebben echter een inschatting gemaakt van het potentieel en de kosten van biofeedstock als bijdrage aan een studie over voorzieningszekerheid. De berekening van Wit, de Bruyn e.a. (2003) betreft een combinatie van conversietechnologieën en biofeedstock zoals bioethyleen, methanol en andere producten die als substituuat voor nafta in de chemische industrie gebruikt kunnen worden (zie Tabel 4.5).

Tabel 4.5 Biofeedstock: Conversieprocessen en producten

| Conversion process | Product | Production costs (/GJ) | Market price (/GJ) |
|-------------------------------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------|
| Biomass refining or pre-treatment | Various products | High | - |
| Fermentation and bioconversion | Ethanol from molasses | 16 | 7 – 25 |
| | Ethanol from grain | 16 | |
| | Ethanol from cellulose | 35 | |
| | Other products | unknown | |
| Thermo-mechanical treatment (HTU) ²⁴ | Biocrude | 7 ²⁵ | 4 ²⁶ |
| Gasification | Methanol | 8 – 20 | 10 |
| | Hydrogen gas | 8 – 15 | 7 |
| | FT products ²⁷ | 20 | 3 – 6 |
| | Other products | unknown | NA |

Bron: Wit e.a. (2003), p. 37.

Voor deze producten zijn kostenschattingen gemaakt op basis van onderzoek van Wit et al. (2003), zie Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Kosten van de vervanging van 10% nafta door biofeedstock

| 10% biomass | | Total cost (million Euro) | | | Additional cost (€/GJ) | | |
|------------------------|----------------|---------------------------|---------|---------|------------------------|---------|---------|
| | Oil saved (PJ) | Minimum | Average | Maximum | Minimum | Average | Maximum |
| Ethene | 15.3 | -61 | 194 | 450 | -4 | 12.7 | 29.4 |
| Methanol ³² | NA | 0 | 92 | 184 | 0 | 6 | 12 |
| Biocrude | 15.3 | NA | 58 | NA | NA | 3.8 | NA |
| Hydrogen | 15.3 | 37 | 90 | 144 | 2.4 | 5.9 | 9.4 |
| FT products | 15.3 | 233 | 251 | 269 | 15.2 | 16.4 | 17.6 |
| Average | 15.3 | 41.6 | 137.1 | 209.3 | 2.72 | 8.96 | 13.68 |

Bron: Wit e.a. (2003), p. 39.

Voor de microalgen en de macroalgen (zeewier) zijn verschillende studies gemaakt om het energiepotentieel en de kosten te berekenen. Tabel 4.7 beschrijft het energiepotentieel van de

natte teelt van biomassa. De kostenberekeningen kennen wederom een grote marge vanwege het onzekere karakter. Voor de microalgen liggen de productiekosten voor relatief hoogwaardige toepassingen rond de €500 per ton droge stof, maar er zijn ook studies die uitgaan van \$2000 tot \$5000 per ton droge stof. We veronderstellen dat 40% van de productie een brandstofvervangend product is en 60% als groene grondstof een substituuat voor nafta in de chemische industrie. Voor de zeewierteelt is de onzekerheid nog iets groter. De kostprijs is afhankelijk van de afstand tot de kust. De gegevens tonen productiekosten van \$20-50 per ton droge stof voor nearshore teelt en \$100-400 per ton droge stof voor offshore toepassingen. De genoemde kosten zijn niet representatief voor teelt in de Noordzee en de mogelijke combinatie met windparken. Er is een kleinschalig experiment in het Duitse gedeelte van de Noordzee uitgevoerd met een kostenniveau van €2500 per ton droge stof, mede veroorzaakt door het handmatig oogsten van het zeewier. Bij grootschalige teelt zal dit gemechaniseerd moeten worden (Reith e.a. 2005, p. 70).

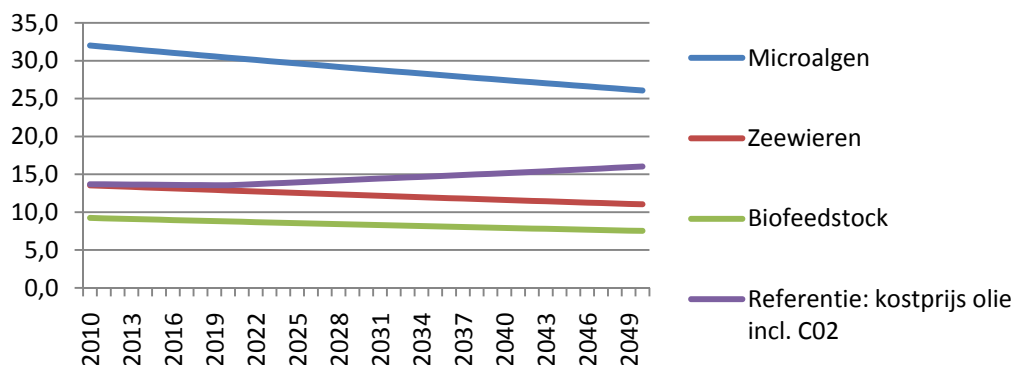
Tabel 4.7 **Energiepotentieel Natte Teelt biomassa in Nederland**

| Jaar | Areaal | Productie (ton d.s. X 1000) | Energiepotentieel (in PJ) |
|-------------------|--------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| <i>Microalgen</i> | <i>in hectare</i> | | |
| 2015 | 2500 | 125 | 2 |
| 2030 | 20000 | 1000 | 32 |
| 2050 | 60000 | 3000 | 100 |
| <i>Ziewieren</i> | <i>in km²</i> | | |
| 2015 | 500 | 2500 | 31,5 |
| 2030 | 2000 | 10000 | 126 |
| 2050 | 5000 | 25000 | 315 |

Bron: Platform Groene Grondstoffen (2006), pp. 72 en 80.

Figuur 4.18 laat de kostprijzen zien van groene grondstoffen met de prijs van olie (inclusief CO₂ prijs) als referentiepunt. Olie dient hier als referentiepunt omdat groene grondstoffen in dit onderzoek dienen als substituuat voor het oliegebruik in zowel de transportsector als in de chemische industrie. Bij de figuur moet benadrukt worden dat de onzekerheid rondom de kostprijzen zeer groot is. Voor de groene grondstoffen is alleen een ondergrens aangegeven, maar is de opwaartse onzekerheid zeer groot. De conclusie van de vergelijking is dat voor biofeedstock op termijn marktconforme prikkels ontstaan voor investeringen in groene grondstoffen. Hetzelfde geldt in mindere mate voor de zeewieren. Voor de onderdelen microalgen is verder onderzoek nodig voor om via innovatie kostenreducties te realiseren die de inzet van deze groene grondstoffen rendabel maken. Waarschijnlijk is voor een periode subsidie nodig voor de marktintroductie van deze technologieën.

Figuur 4.18 Kostencurven productiekosten groene grondstoffen, in € mln per PJ



Groen gas

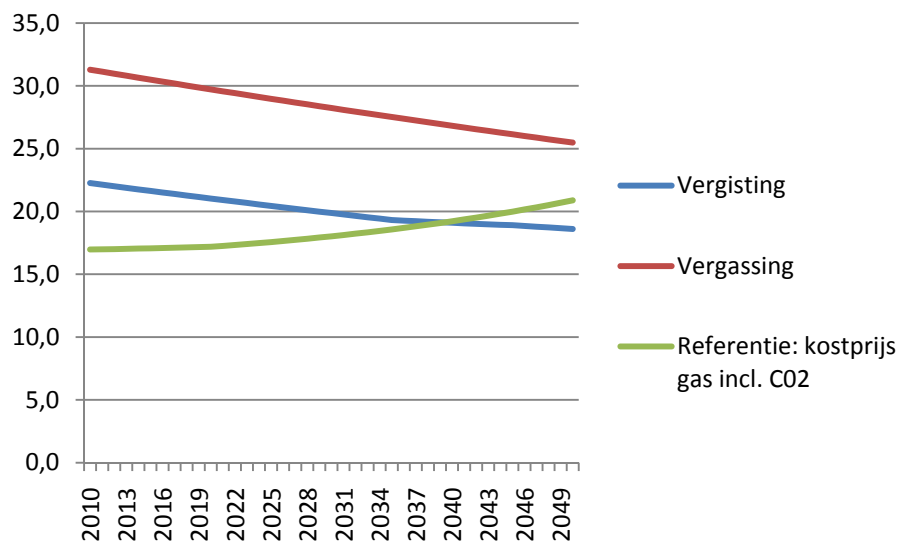
De biogasroute betreft voornamelijk vergisting tot biogas van biomassa (mest, GFT, slachtafval). Dit is een bewezen technologie welke nu al commercieel wordt toegepast, meestal in kleinschalige projecten waarbij lokaal beschikbare biomassa wordt ingezet. Biogas kan rechtstreeks worden toegepast in bijvoorbeeld elektriciteitsproductie, micro-WKK of als brandstof voor verwarmingsinstallaties. Na opwekking tot aardgaskwaliteit kan het in het net worden geïnjecteerd of toegepast voor mobiliteit. Het theoretisch maximaal haalbare potentieel is volgens Schoots (2010) circa 50-60 PJ per jaar. Dit is relatief gering ten opzichte van het jaarlijkse aardgasverbruik van 1500 PJ.

Vergisting is noodzakelijk voor het bewerkstelligen van de transitie. Op de middellange termijn zal de rol van vergisting worden overgenomen door vergassing, Bio-SNG, een technologie met een veel groter potentieel. Bio-SNG is de duurzame vergassing van biomassa en SNG productie (Synthetic Natural Gas). Vergassing is een thermochemisch proces waarbij biomassa bij hoge temperatuur wordt omgezet in synthesegas. Bio-SNG installaties met een productiecapaciteit van tientallen tot honderden MW zijn mogelijk waardoor het zeer waarschijnlijk is dat voor deze technologie schaafeffecten een grote rol gaan spelen bij kostenreducties.³¹ Daarnaast bestaat nog veel potentieel voor leereffecten. Op lange termijn kan aardgasvervanging door groen gas (Bio-SNG) volgens het platform Nieuw Gas opgeschaald worden naar 50% van de totale gasproductie.

Voor groen gas is de relevantie benchmark de prijs van aardgas, inclusief CO₂-prijs. Figuur 4.19 laat zien dat Bio-SNG rond 2040 concurrerend kan worden als we uitgaan van een optimistisch scenario met flinke leer- en schaafeffecten. Dit komt overeen met de conclusie van Schoots (2010) dat Bio-SNG rond 2038 een breakeven punt bereikt. Dit betekent wel dat de opschaling van de productie voor dat punt afhankelijk is van een stimuleringsregeling om het verschil tussen de productiekosten van groen gas en de gasprijs te compenseren.

³¹ Groen gas uit een 10 MW installatie kost 30,8 €/GJ, uit een 100 MW installatie 15,3 €/GJ en uit een GW installatie 9,3 €/GJ. Zie: Schoots (2010), p. 53.

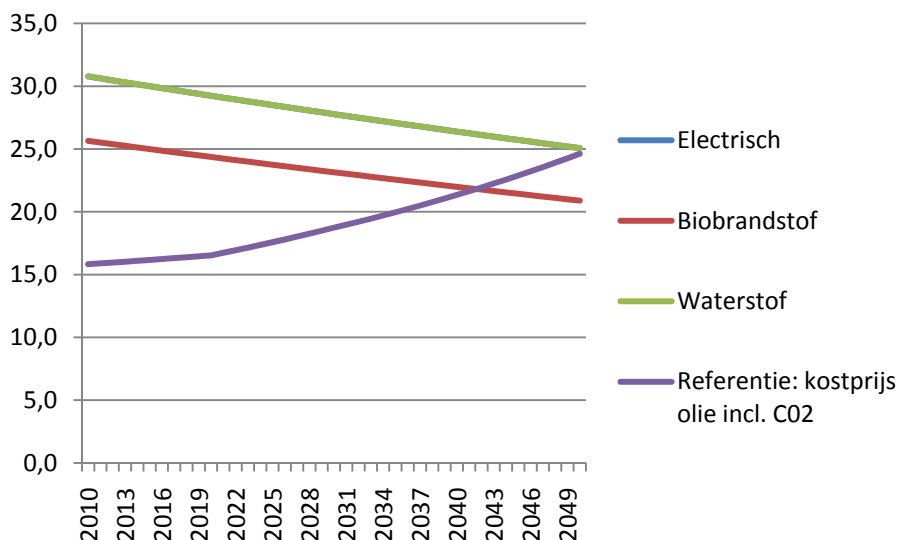
Figuur 4.19 Kostprijzen groen gas, 2010-2050 (in € mln/PJ)



Mobiliteit

De kostprijsontwikkelingen van alternatieven voor olie in het transport zijn met onzekerheid omgeven. Gebaseerd op IEA (2008) en ECN (2004) zijn de in Figuur 4.20 weergegeven kostencurven voor de verschillende alternatieven voor olie in het transport weergegeven. Voor deze kostencurven zijn redelijk conservatieve leereffecten ingeboekt, van 5% per decennium. Te zien is dat elektrisch vervoer en vervoer op waterstof in eerste instantie nog ver boven de prijs van conventioneel fossiel vervoer zitten. Additionele investeringen in r&d zijn derhalve nodig om deze alternatieven op termijn concurrerend te maken. De figuur suggereert dat dit omslagpunt ergens rond 2050 zou kunnen liggen. Biobrandstoffen zijn naar verwachting eerder rendabel in vergelijking met het fossiele alternatief. Het omslagpunt ligt gegeven deze uitgangspunten rond 2040. Hierbij tekenen wij wel aan dat deze kostencurven met zeer grote onzekerheid zijn omgeven, en dat de weergegeven curven eerder een ondergrens markeren.

Figuur 4.20 Kostprijzen mobiliteit, 2010-2050 (in € mln/PJ)



Kosten van productie van de energiemix

De verschillende opbouw van de energiemix in de nul- en de projectalternatieven hebben tot gevolg dat de productiekosten ook uiteenlopen tussen de verschillende mixen. Zo zal de inzet van hernieuwbare energiebronnen in eerste instantie leiden tot hogere productiekosten, omdat de kostprijs hoger ligt dan die van de fossiele energiebron waarvan de productie navenant kan worden teruggeschroefd. In de MKBA wordt steeds gekeken naar het verschil van het projectalternatief ten opzichte van het nulalternatief. Dat wil zeggen dat als er in het nulalternatief \times PJ wordt geproduceerd met kolen en in het projectalternatief ook, dan zijn de productiekosten in de MKBA voor het projectalternatief nul. Voor iedere energiebron wordt derhalve gekeken naar het verschil tussen de productie in het nul- en het projectalternatief. Dit verschil wordt vervolgens vermenigvuldigd met de kostprijs in het betreffende jaar. Dat betekent over het algemeen dat er voor fossiele energiebronnen sprake is van negatieve productiekosten in het projectalternatief (er wordt in het projectalternatief minder geproduceerd door de inzet van fossiele bronnen dan in het nulalternatief). De productiekosten van duurzame energiebronnen daarentegen zijn dan positief, omdat er juist meer van wordt geproduceerd dan in het nulalternatief. Deze negatieve en positieve productiekosten worden ten slotte gesaldeerd en verdisconteerd.

In het fossiele projectalternatief van het Blue Map scenario bedragen de verdisconteerde productiekosten over de periode 2010-2050 € 14 miljard aan de bovenkant van de bandbreedte en € 1 aan de onderkant. Voor het hernieuwbare projectalternatief is de bandbreedte smaller met een iets hogere bovengrens: € 11 tot € 17 miljard. Het fossiele alternatief onder het BAU-scenario laat hogere productiekosten zien met een grotere bandbreedte: € 39 tot € 79 miljard. Dit wordt met name ingegeven door de forse inzet van CCS en kernenergie, die beide met flinke bandbreedte zijn ingezet als gevolg van de onzekerheid omtrent de kostenontwikkelingen. In het hernieuwbare alternatief onder het BAU-scenario ontbreekt deze bandbreedte, omdat de inzet van CCS en kernenergie niet verschilt van het nulalternatief. De productiekosten belopen in dit alternatief € 49 miljard.

4.2.3 Reguleringkosten

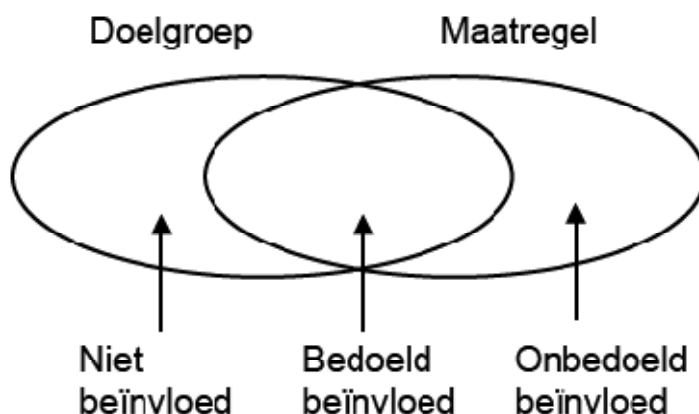
Energietransitie komt niet vanzelf tot stand. Via normering en regulering geeft de overheid richting aan de ontwikkeling naar een duurzame energiehuishouding. De gebouwde omgeving en de transportsector zijn de belangrijkste sectoren waar normering voor energiebesparing moet zorgen. Daarnaast is het emissiehandelssysteem en dus het beprijzen van de CO₂-emissie de belangrijkste vorm van regulering met als doel de verduurzaming van de energiesector te ondersteunen.

Wat zijn reguleringkosten?

Regulering veroorzaakt langs verschillende kanalen kosten die meetellen in een maatschappelijke kosten-batenanalyse. In de eerste plaats is van belang dat regulering de keuzevrijheid van individuen beperkt. Het gevolg is dat individuen binnen hun budgetbeperking keuzes maken die in afwezigheid van regulering anders zouden uitvallen. Dit veroorzaakt welvaartsverlies voor dit individu (Schmalensee 1993). Uiteraard staan er tegenover de beperking van de keuzevrijheid ook baten, omdat regulering borging van een publiek belang beoogt. Dit kan een extern effect betreffen zoals beperking van CO₂-emissie. Deze baat is in de maatschappelijke kosten-batenanalyse al als extern effect gewaardeerd. De nadruk ligt hier op de kosten van de regulering.

Regulering brengt ook kosten voor de overheid met zich mee. De effectiviteit van normen staat of valt met de handhaafbaarheid van het beleid. Met name als het gedrag van de gereguleerden moeilijk meetbaar is en dit gedrag op een groot aantal plaatsen optreedt, is handhaving van normen vaak zeer problematisch. Een klassiek voorbeeld is de Hinderwet, waarbij op een zeker moment 70% van de doelgroep niet aan de normen bleek te voldoen. Bij het uitvoeren van een kosten-batenanalyse van normen is het dus een valkuil om te veronderstellen dat normen 100% effectief zijn. De effectiviteit moet worden geschat op basis van de verwachte handhavingsinspanningen. Deze inspanningen dienen expliciet te worden gespecificeerd, inclusief hun (uitvoerings)kosten.

Figuur 4.21 Maatregelen zijn slechts gedeeltelijk doeltreffend



Bron: Koopmans (2006), p. 23.

Uitvoeringskosten worden voor een deel doorgeschoven naar de belastingbetaler. Denk hierbij aan de loonsom van de inspecteurs die nodig zijn voor de handhaving van regulering. Het welvaartseffect van deze uitvoeringskosten valt in de categorie kosten van belastingheffing, omdat ze leiden tot hogere belastingen. Voor een deel veroorzaakt handhaving van regelgeving ook administratieve lasten die door bedrijven en burgers moeten worden opgebracht. Dit zijn wel kosten die vallen in de categorie reguleringskosten, omdat ze zonder de regulering niet zouden bestaan.

Berekening reguleringskosten

De concretisering van de post reguleringskosten is lastig omdat eenvoudige kengetallen niet voorhanden zijn. Idealiter volgt een maatschappelijke kosten-batenanalyse een bottom-up benadering waarbij voor een concrete regel of norm administratieve lasten worden berekend. Van der Noll, Weda en Tieben (2010) volgen deze benadering voor het onderwerp energiebesparing. Zij schatten de totale administratieve lasten van een systeem met verplichte labelsprongen voor huiseigenaren op € 347 miljoen voor de periode tot 2020. Dit betreft de kosten die nodig zijn voor de doelstelling van 100PJ die momenteel het doel is van het covenant *Meer met Minder*.³² Voor de besparingsopties na 2020 zullen additionele kosten gemaakt worden die een veelvoud bedragen.

Van der Noll, Weda en Tieben (2010) laten ook zien hoe lastig het is om gedetailleerde gegevens over de reguleringskosten van specifieke maatregelen te verkrijgen. Er zijn verschillende voorbeelden in het buitenland over normen ter bevordering van energiebesparing. Over kosten van toezicht en handhaving is echter weinig bekend. Fujimoto (2009, p. 73) rapporteert dat met

³² Partners in Meer met Minder zijn het Rijk (ministeries VROM en EZ) en initiatiefnemers Bouwend Nederland, UNETO-VNI en energieleveranciers. Het covenant bestaat uit een inspanningsverplichting voor het realiseren van additionele gebouw- en installatiegebonden energiebesparing in bestaande woningen en andere gebouwen van in totaal ten minste 100 PJ. De inspanningen van de initiatiefnemers bestaan hoofdzakelijk uit het wegnemen van belemmeringen voor investeerders, het informeren van investeerders en het betrekken van uitvoerende ondernemers.

het toezicht op Duitse ‘Energie Prestatie Certificaten’ “enkele duizenden gekwalificeerde inspecteurs” gemoeid zijn.³³ Bulkeley & Kern (2006, p. 2240) stellen vast dat drie Duitse gemeenten (Heidelberg, Frankfurt am Main en München) toezichtprocedures hebben ontwikkeld voor CO₂-audits, maar dat deze zo kostbaar en tijdrovend zijn dat jaarlijkse rapportage niet mogelijk is. Er zijn geen aanwijzingen dat systematische controle wel plaatsvindt in andere Duitse gemeenten, hoofdzakelijk om financiële redenen. Rehdanz (2007, p. 168), tot slot, merkt op dat controle op bouwvoorschriften in Duitsland zeldzaam is.

Er zijn dus weinig precedents voor handhaving in relatie tot een energiebesparingsverplichting. Indien er wel precedents bestaan – zoals de isolatieverplichting in Duitsland – zijn er geen gegevens over de handhavingskosten. Wat op voorhand duidelijk is, is dat een beleidsvariant die volledig leunt op handhaving van een besparingsverplichting hoge reguleringskosten met zich meebrengt. Van de acht door hen onderzochte instrumenten, beoordeelt CE Delft de verplichtstelling voor gebouweigenaren (een minimale energie-efficiëntienorm van energielabel B) als 1-na-slechtste voor het criterium ‘uitvoerbaarheid en handhaafbaarheid’ (Rooijers, Leguijt, & Groot, 2010, p. 24). Ook het voorstel van het Platform Energietransitie Gebouwde Omgeving (PeGO) leidt tot zwaardere handavingsinspanning van gemeenten (CE Delft, 2009, p. 71). De Werkgroep *Energie en klimaat*, ten slotte, concludeert in de ‘Brede heroverwegingen’ dat de kosten van implementatie en handhaving van verplichtingen voor energiebesparing in de gebouwde omgeving zeer hoog kunnen zijn. De werkgroep voegt daaraan toe dat voor implementatie- en handhavingskosten thans geen cijfers beschikbaar zijn (ministerie van Financiën, 2010, p. 45).

Energiebesparing in de gebouwde omgeving is een voorbeeld van een sector die gebaat is bij normering en regulering. De transportsector (verplichte bijmenging biobrandstoffen) en de industrie en landbouw (het Europese emissiehandelssysteem) zijn andere voorbeelden. Bij het kwantificeren van de totale reguleringskosten is het lastig dat Europese studies met een schatting van de totale reguleringskosten binnen de Europese of nationale context ontbreken.

Deze lacune in de kennis over reguleringskosten verklaart de keuze van deze KKBA-analyse voor een macro-economische benadering op basis van kengetallen. Deze kengetallen zijn ontleend aan Amerikaanse studies. In de VS is veel meer aandacht voor de reguleringskosten van regelgeving in het ecologische domein, mede omdat die kosten door de overheid zelf nauwkeurig worden bijgehouden. Dit wordt door economen gebruikt om schattingen te maken van de welvaartsverliezen die met deze vorm van regulering samenhangt. Een veel geciteerde bron is Hazilla en Kopp (1990) die op basis van empirische analyse komen tot een welvaartsverlies als gevolg van milieuregels van maximaal 2,6% van het Amerikaanse BBP.

Deze KKBA maakt een macro-economische schatting van de uitvoeringskosten verbonden aan normering en regulering. We hanteren een bandbreedte van 0,5% tot 1,0% BBP-verlies per jaar als de maatschappelijke kosten van regulering ter bevordering van energietransitie. Een deel van deze kosten wordt gedragen door private partijen en vormen dus administratieve lasten en daarmee een welvaartsverlies. Voor een ander deel gaat het om kosten voor de overheid (bijvoorbeeld handhavingskosten) die de staat via belastingheffing compenseert. Het

³³ In Duitsland zijn gebouweigenaren verplicht om een ‘Energie Prestatie Certificaat’ te hebben, bestaande uit twee delen: het werkelijke huidige energieverbruik en efficiëntieverbetering door renovatie. De certificaten worden verstrekt door de Deutsche Energie Agentur, DENA (Fujimoto, 2009, p. 73).

welvaartsverlies daalt dan neer bij de post 'kosten van belastingheffing'. Door deze splitsing te maken worden de kosten van regulering geschat op circa €33 tot maximaal €83 miljard in totaal (zie Tabel 1.1).

Resultaat in het saldo van de KKBA

De reguleringskosten vormen een belangrijk deel van de totale kosten in de KKBA, zoals is te zien in Tabel 1.1. De reguleringskosten zijn voor drie van de vier projectalternatieven bijvoorbeeld hoger dan de productiekosten van de energiemix. Kost regulering de maatschappij meer dan de productie van energie? Deze verhouding is vertekend door de opzet van de KKBA. Het saldo van de KKBA laat het verschil zien tussen het nulalternatief en de projectalternatieven. In het nulalternatief is in het BAU-scenario geen sprake van regulering, maar wel van productie van (fossiele) energie. In de KKBA zien we alleen het verschil in productiekosten maar wel de integrale reguleringskosten die in het nulalternatief immers bijna nul zijn. Ten opzichte van de integrale productiekosten voor de energiemix in het projectalternatief, die dus niet zichtbaar zijn in Tabel 1.1, zou de verhouding met de kosten van regulering minder scheef lijken.

4.2.4 Kosten van belastingheffing

Belastingheffing veroorzaakt kosten voor de maatschappij doordat de bedrijven en huishoudens verplicht zijn een deel van hun inkomen aan de overheid af te dragen. In feite besteedt de overheid via belastingheffing en de rijksbegroting een deel van de koopkracht van private subjecten waarmee de keuzevrijheid wordt ingeperkt. Dit veroorzaakt een welvaartsverlies dat wordt geschat op circa 25 eurocent per geheven euro belasting.³⁴ Dit is het uitgangspunt voor de berekening van deze post in deze KKBA. We houden bovendien rekening met het feit dat ook stimuleringsmaatregelen niet 100% effectief zijn. Ze subsidiëren bijvoorbeeld ook partijen die ook zonder de subsidie bereid zouden zijn tot investeren in energietransitie. Dit onderzoek houdt hiermee rekening door de effectiviteit van stimuleringsmaatregelen op 50% te schatten.

Op basis van dit uitgangspunt berekent dit onderzoek de kosten van de belastingheffing. De berekening van de subsidie die nodig is ter stimulering van de transitie naar een duurzame energiehuishouding is gebaseerd op de hoogte van de onrendabele top van de duurzame energietechnologieën. De overheid zal de onrendabele top moeten subsidiëren om exploitatie commercieel aantrekkelijk te maken en de benodigde investeringen uit te lokken. De economische schade van de belastingheffing die nodig is voor de subsidies is geschat op circa €22 tot €26 miljard voor BAU en op circa €10 tot €12 miljard voor de projectalternatieven in Blue Map. Dit verschil wordt verklaard door het feit dat in Blue Map het startpunt anders is dan in BAO. Het nulalternatief in Blue Map veronderstelt al 50% reductie van broeikasgassen. Dit maakt de totale investeringsopgave voor de projectalternatieven lager en verklaart dus ook waarom volstaan kan worden met een lager subsidiebedrag en dito welvaartsverliezen als gevolg van belastingheffing.

³⁴ De belasting zelf is een overdracht van belastingbetaler (particulier of zakelijk) naar overheid, waarvan het welvaartseffect per saldo nul is (de belastingbetaler gaat er evenveel op achteruit als de subsidieontvanger erop vooruitgaat). Zie De Nooij en Koopmans (2004).

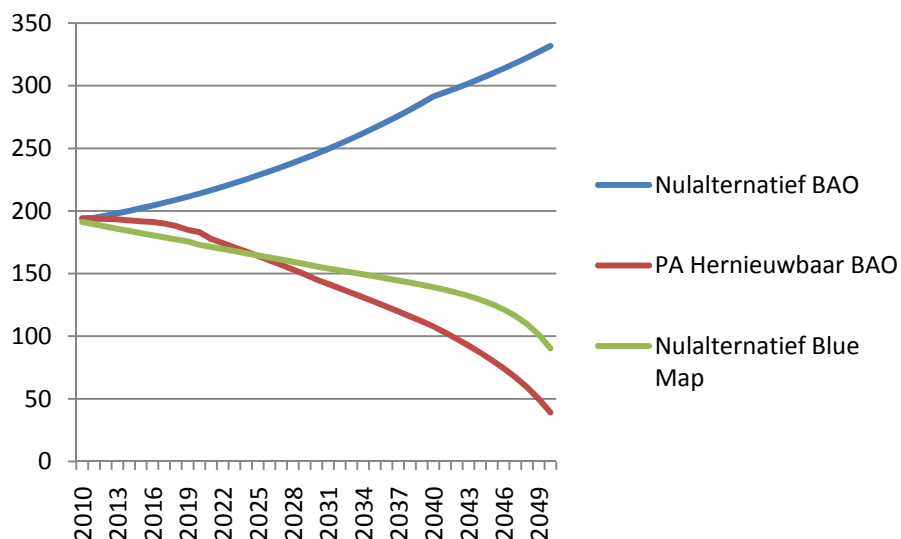
4.3 Kosten en baten van het nulalternatief in Blue Map

De berekening van het maatschappelijk saldo voor de projectalternatieven richt zich op een vergelijking met het nulalternatief voor het betreffende omgevingsscenario. Het is daarbij van belang dat het nulalternatief in Blue Map een ander vertrekpunt is dan het nulalternatief in het BAU scenario. Het nulalternatief in Blue Map realiseert al 50% reductie van broeikasgassen terwijl de emissies in het nulalternatief in BAU stevig doorgroeien. Dit plaatst de evaluatie van de projectalternatieven in Blue Map ook in een ander kader en werpt de vraag op wat het nulalternatief in Blue Map de maatschappij al heeft opgeleverd dan wel gekost.

Een antwoord op deze vraag kan alleen schetsmatig worden gegeven. Strikt genomen zou een precies antwoord vergen dat het nulalternatief in Blue Map als een projectalternatief wordt gezien. De vraag is dan welk nulalternatief hier tegenover moet staan. Dit rapport zoekt een pragmatische oplossing door de stap naar het BAU-scenario te zetten. Stel dat het uitgangspunt de wereld uit het BAU-scenario is en dat de inspanning van Nederland en de internationale gemeenschap om tot 50% emissiereductie in 2050 te komen een projectalternatief is, te vergelijken met de projectalternatieven Fossiel en Hernieuwbaar onder dit scenario. Dit biedt ons de mogelijkheid om via kengetallen een schatting te maken van de maatschappelijke kosten en baten van het nulalternatief in Blue Map. De vergelijking met het projectalternatief Hernieuwbaar in BAU ligt het meest voor de hand, gegeven de vergelijkbaarheid van de energiemix. Strikt genomen kan de stap tussen de omgevingsscenario's niet worden gezet vanwege de verschillen in de economisch condities waaronder de energietransitie zich voltrekt. Door hiervoor op een beredeneerde wijze te corrigeren wordt toch informatie gekregen over de vraag wat de startsituatie in Blue Map de maatschappij oplevert.

Het startpunt voor deze analyse is de reductie van de CO₂-emissie als het voornaamste broeikasgas. Figuur 4.22 toont de daling van de CO₂-emissie in zowel het projectalternatief Hernieuwbaar in BAU als in het nulalternatief in Blue Map. In het nulalternatief in Blue Map daalt de emissie al met 50% ten opzichte van het niveau van 1990, in het projectalternatief Hernieuwbaar is de daling 80%. We kunnen het nulalternatief in Blue Map als een pseudo-projectalternatief in BAU beschouwen en het maatschappelijke saldo voor het projectalternatief Hernieuwbaar als maat nemen voor de berekening van de kosten en baten van de reductie in het nulalternatief in Blue Map. De stap van BAU naar Blue Map wordt gezet door de netto kosten (het saldo van baten en kosten) per Mton vermeden CO₂ te berekenen. Het maatschappelijk saldo voor het nulalternatief volgt via vermenigvuldiging van dit bedrag per Mton vermeden CO₂ en het aantal Mton vermeden CO₂ in het nulalternatief in Blue Map.

Figuur 4.22 Vergelijking reductie CO₂-emissie Blue Map en BAU, 2010-2050 (in Mton CO₂)



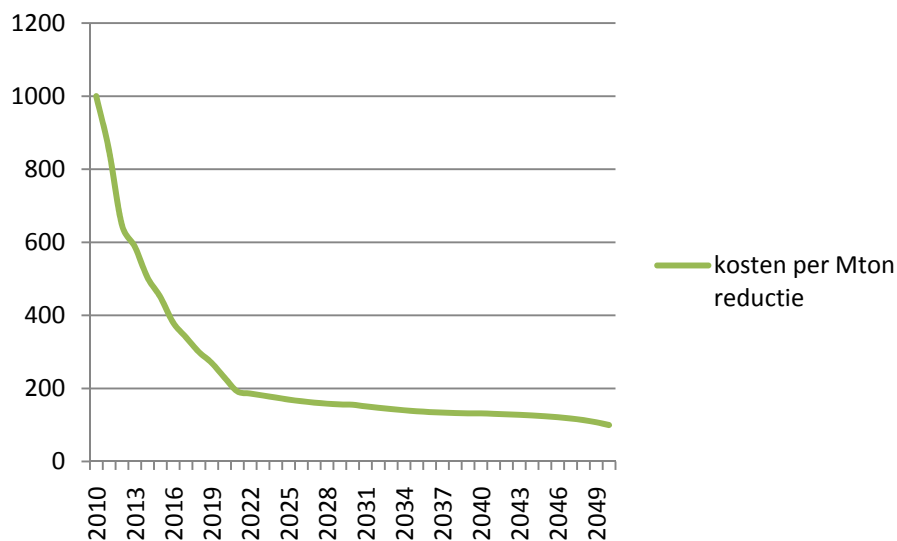
Bron: SEO

Figuur 4.23 toont de bruto kosten voor de reductie van de emissie van CO₂ in het projectalternatief Hernieuwbaar in BAU. Dit betreft de som van de productiekosten voor de energiemix in dit projectalternatief en de kosten van de besparingsmaatregelen. De figuur laat zien dat de bruto kosten dalen naarmate het proces van energietransitie verder vordert en naar een stabiel niveau van net boven de €100 per Mton vermeden CO₂ tenderen. Dit wordt voornamelijk veroorzaakt door schaal- en leereffecten die de productiekosten per eenheid duurzame energie doen dalen.

De bruto kosten zijn niet het hele verhaal. Om de energietransitie in gang te zetten is regulering en subsidie nodig. De kosten die hiermee gepaard gaan zijn in Figuur 4.24 gesaldeerd met de baten van energietransitie zoals voorzieningszekerheid, extra bestedingsimpuls en extra economische groei. Dit saldo loopt in de loop van de tijd relatief terug en benadert in 2050 de nullijn. Er zijn ook andere baten. De belangrijkste posten zijn de vermeden emissie van CO₂ en andere broeikasgassen zoals stikstof. Deze lijn loopt richting 2050 juist op omdat de prijs waartegen de vermeden emissie wordt gewaardeerd stijgt.³⁵ De andere belangrijke baat is de besparing op brandstof die in het begin relatief hoog is, maar later in de tijd relatief lager wordt vanwege de verduurzaming van de economie; de bijdrage van energiebesparing aan de emissiereductie wordt in de loop van de tijd relatief kleiner naarmate de energiemix steeds duurzamer wordt.

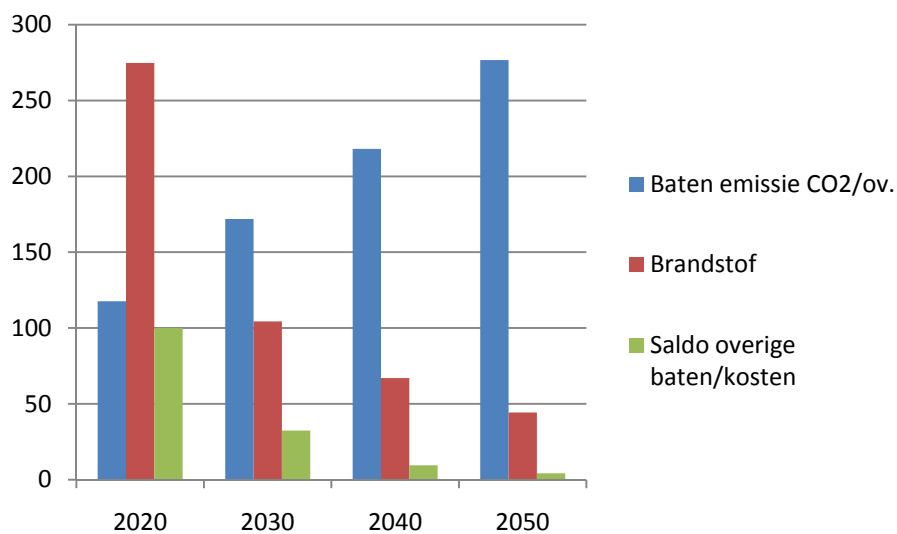
³⁵ Voor deze berekening wordt de CO₂-prijs uit BAU gehanteerd. Het is onlogisch om voor het pseudo-projectalternatief Blue Map een andere CO₂-prijs te gebruiken dan in het nulalternatief, en dat is in dit geval BAU.

Figuur 4.23 Bruto kosten per Mton vermeden CO₂ in BAU (in € per Mton CO₂)



Bron: SEO

Figuur 4.24 Overige baten en kosten per Mton vermeden CO₂ in BAU (in € per Mton CO₂)

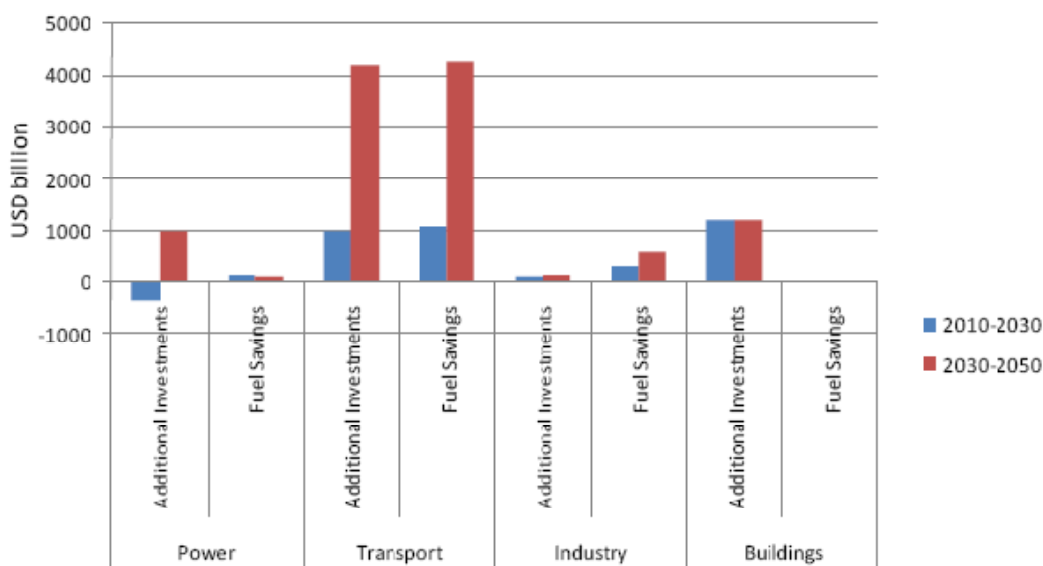


Bron: SEO

Bij de stap van BAU naar Blue Map moeten we rekening houden met de verschillen in de voorwaarden voor energietransitie die in de scenario's is verondersteld. Belangrijkste verschil is de mate van internationale samenwerking die in Blue Map energietransitie vergemakkelijkt en tegen lagere kosten mogelijk maakt. We corrigeren hiervoor door de productiekosten van de energiemix met 25% tot 50% te verlagen bij de stap van BAU naar Blue Map. Het saldo van de maatschappelijke kosten en baten van het nulalternatief Blue Map wordt op basis van deze veronderstellingen geschat op een bedrag tussen € 204 miljard in de hoge kostenvariant en € 301 miljard in de lage kostenvariant.

Dit resultaat kan worden vergeleken met de berekening die de IEA geeft van de kosten en baten van het Blue Map scenario. Deze berekening is specifiek voor de OESO landen in Europa gemaakt. IEA (2010) berekent dat investeringen met een omvang van \$ 8.400 miljard voor de periode 2010-2050 nodig zijn om de energietransitie in de Blue Map wereld voor dit deel van de wereld te realiseren; Figuur 4.25 toont de sectorale verdeling van dit investeringsbedrag.³⁶ IEA constateert dat de besparing op brandstof in dit proces deze kosten voor een flink deel compenseert (circa \$ 6.200 miljard) maar laat zich niet uit over andere posten op de kosten- en batenbalans. Qua BBP maakt Nederland ongeveer 4% uit van dit deel van de OESO. Met dit aandeel verkrijgen we een schatting van de investeringen die nodig zijn om voor ons land het verschil tussen BAU en Blue Map te overbruggen. Dit bedrag zit met € 227 miljard dicht bij onze eigen schatting van €204 miljard voor het investeringsbedrag. Dit geldt ook voor het totaal aan besparing op brandstof; € 169 miljard volgens de IEA en € 189 miljard in onze berekening. De correctie zou dus ongeveer € 20 miljard kunnen bedragen waarbij aangetekend moet worden dat ook deze waarde een ruwe schatting is, omdat deze methode veronderstelt dat de energiemix in Nederland overeenkomt met de gemiddelde energiemix voor de Europese OESO landen.

Figuur 4.25 Investerings en energiebesparing in OESO Europa, verschil IEA Base scenario en Blue Map



Bron: IEA (2010), hoofdstuk 8.

4.4 Robuustheidanalyse

De grootste onzekerheden in het geschetste beeld de kosten en baten van overheidsbeleid gericht op energietransitie zijn, in volgorde van belangrijkheid (impact op de resultaten):

³⁶ Deze analyse richt zich op het totale investeringsbedrag. De figuur laat nog twee andere zaken zien. In de eerste plaats slaat het investeringsbedrag volgens IEA voor een flink deel neer in de transportsector. In de tweede plaats stijgen de investeringen sterk na 2030. In 2030 is het emissieniveau in Blue Map met 50% gedaald ten opzichte van het referentiejaar 2007. Voor de daling naar 70% reductie in de jaren na 2030 is volgens IEA een verdrievoudiging van de investeringen nodig.

- *De mate waarin toekomstige generaties worden meegenomen.* Een traditionele, hoge disconteringsvoet leidt tot een lichte weging van kosten en baten na 2030. Duurzame discontering, waarin toekomstige generaties even belangrijk zijn als de huidige generatie, levert zowel bij de kosten als bij de baten een ongeveer drie keer zo hoge uitkomst op. Bovendien wordt de baten-/kostenverhouding dan groter, omdat bij investeringen de kost voor de baat uitgaat. De verdeling van welvaart is bij uitstek een politieke kwestie, ook als het om verdeling tussen generaties gaat. Daarom is het aan de politiek om deze weging te bepalen.
- *De internationale omgeving.* Als internationaal een intensief energie- en CO₂-beleid wordt gevoerd, met onder andere emissiehandel voor alle landen en alle sectoren, dalen de kosten van additionele maatregelen voor energietransitie in Nederland met circa 25 tot 50%. Als de kosten van het internationale beleid voor Nederland worden meegenomen in de berekening, zijn de totale kosten voor Nederland nog steeds lager dan bij een “alleingang”
- *De mate waarin de kosten van duurzame investeringen dalen (via ‘leercurven’).* Als het leereffect dat is verondersteld in de KKBA gehalveerd wordt, stijgen de kosten van de duurzame opties.
- *De waardering van de CO₂-emissies.* De heeft effect op de belangrijkste baat in de KKBA, de waarde van de vermeden CO₂-emissie.
- *De ontwikkeling van de brandstofprijzen.*

4.4.1 Discontovoet

Een traditionele, hoge disconteringsvoet leidt tot een lichte weging van kosten en baten na 2030. Duurzame discontering, waarin toekomstige generaties even belangrijk zijn als de huidige generatie, levert zowel bij de kosten als bij de baten een ongeveer drie keer zo hoge uitkomst op. Bovendien wordt de baten-/kostenverhouding dan groter, omdat bij investeringen de kost voor de baat uitgaat. De verdeling van welvaart is bij uitstek een politieke kwestie, ook als het om verdeling tussen generaties gaat. Daarom is het aan de politiek om deze weging te bepalen.

Tabel 4.8 Saldo Kosten-batenanalyse met discontovoet 1%*

| Nulscenario | Business-as-usual | | Blue Map | | |
|--------------------------------------------|----------------------------|----------------------|----------------------------|-------------------|-----------------------|
| Startpositie | Geen internationaal beleid | | Veel internationaal beleid | | |
| | | | Nationale 'kop' | | Kosten en baten |
| Beleidsalternatief Nederland | Fossiel | Hernieuwbaar | Fossiel | Hernieuwbaar | Internationaal beleid |
| BATEN | | | | | |
| <i>Directe effecten (energiemarkt)</i> | | | | | |
| Energiebesparing | 580 | 580 | 123 | 123 | 475 |
| Voorzieningszekerheid | 0 à 36 | 0 à 33 | 0 à 11 | 0 à 15 | 27 |
| <i>Indirecte effecten (andere markten)</i> | | | | | |
| Bestedingsimpuls | 93 à 180 | 75 à 137 | 0 à 28 | 16 à 34 | 56 à 84 |
| Structurele groei | 13 à 30 | 20 à 20 | - 7 à - 3 | 3 à 11 | 8 à 12 |
| <i>Externe effecten</i> | | | | | |
| CO ₂ reductie tot 2050 | 440 | 423 | 30 | 34 | 346 |
| Reductie overige emissies | 228 | 223 | 39 | 56 | 191 |
| Totaal baten | 1.354 à 1.493 | 1.321 à 1.416 | 185 à 228 | 242 à 274 | 1103 à 1135 |
| KOSTEN | | | | | |
| Besparingsmaatregelen | 151 à 452 | 151 à 452 | 50 à 151 | 50 à 151 | 185 à 277 |
| Productie energiemix | 156 à 289 | 194 à 194 | 6 à 53 | 57 à 39 | 79 à 119 |
| Reguleringskosten | 82 à 164 | 82 à 164 | 104 à 208 | 104 à 208 | 67 à 100 |
| Kosten belastingheffing | 0 à 52 | 0 à 69 | 0 à 18 | 0 à 24 | 28 à 42 |
| Totaal kosten | 389 à 958 | 426 à 878 | 161 à 430 | 211 à 422 | 359 à 488 |
| SALDO (netto baten) | 536 à 965 | 537 à 894 | - 202 à 25 | - 148 à 31 | 596 à 744 |

*netto contante waarden in miljarden euro (discontovoet = 1%)

De KKBA is uitgevoerd voor de voorgeschreven discontovoet van 5,5% voor gewone effecten en 4% voor onomkeerbare effecten zoals de reductie van broeikasgassen. Bij wijze van gevoeligheidsanalyse is een discontovoet van 1% toegepast die vooral in staat zou moeten zijn om de baten in de verdere toekomst beter in beeld te brengen; ze tellen relatief zwaarder mee bij de berekening van het maatschappelijk saldo maar dat geldt natuurlijk ook voor de kosten die verder in de toekomst liggen. Energietransitie is een proces dat een continue stroom investeringen vraagt ook al gaat de kost inderdaad voor de baat uit. De noodzaak blijvend te investeren verklaart waarom de resultaten voor een discontovoet van 1% qua richting niet afwijken van de resultaten met de traditionele discontovoet. Het belangrijkste effect is dat het positieve saldo groter uitvalt (zie Tabel 4.8).

4.4.2 CO₂-prijs

In de berekeningen is uitgegaan van de huidige bereidheid van de Nederlandse overheid om kosten te maken voor CO₂-reductie en van een stijging van deze waardering in de tijd. Als deze waardering wordt gehalveerd, dalen de totale baten met circa een kwart. De energietransitie blijft dan rendabel in het business-as-usual omgevingsscenario. Voor het Blue Map scenario worden de prijzen gelijk gehouden. Voor deze projectalternatieven zijn al de veel lagere Nordhaus prijzen gebruikt. Een gevolg is wel dat met de halvering van de CO₂-prijs in BAU ook de netto baten van internationale samenwerking dalen.

Tabel 4.9 Saldo kosten-batenanalyse bij halvering CO₂-prijs in BAU

| nuls scenario projectalternatief | 'BAU'-scenario | | Blue Map scenario | |
|--------------------------------------------|----------------------|----------------------|---------------------|---------------------|
| | Fossiel | Hernieuwbaar | Fossiel | Hernieuwbaar |
| BATEN | | | | |
| <i>Directe effecten (energiemarkt)</i> | | | | |
| Energiebesparing | € 189 | € 189 | € 42 | € 42 |
| Voorzieningszekerheid | 0 à € 11 | 0 à € 10 | 0 à € 3 | 0 à € 4 |
| <i>Indirecte effecten (andere markten)</i> | | | | |
| Bestedingsimpuls | € 32 à € 77 | € 28 à € 64 | € 1 à € 15 | € 9 à € 20 |
| Structurele groei | € 2 à € 7 | € 4 à € 4 | -€ 3 à -€ 2 | € 3 à € 2 |
| <i>Externe effecten</i> | | | | |
| CO ₂ reductie tot 2050 | € 91 | € 87 | € 13 | € 15 |
| Reductie overige emissies | € 66 | € 61 | € 12 | € 18 |
| Totaal baten | € 380 à € 441 | € 368 à € 415 | € 65 à € 83 | € 87 à € 102 |
| KOSTEN | | | | |
| Besparingsmaatregelen | € 59 à € 177 | € 59 à € 177 | € 19 à € 58 | € 19 à € 58 |
| Productie energiemix | € 39 à € 79 | € 49 à € 49 | € 1 à € 14 | € 17 à € 11 |
| Reguleringskosten | € 33 à € 65 | € 33 à € 65 | € 42 à € 83 | € 42 à € 83 |
| Kosten belastingheffing | 0 à € 22 | 0 à € 26 | 0 à € 10 | 0 à € 12 |
| Totaal kosten | € 131 à € 343 | € 141 à € 318 | € 62 à € 166 | € 78 à € 165 |
| SALDO | € 97 à € 249 | € 97 à € 228 | -€ 83 à € 3 | -€ 63 à € 9 |

* netto contante waarden in miljarden euro (discontovoet = 5,5% resp. 4%)

4.4.3 Leereffecten

Een volgende factor voor de robuustheidsanalyse is het leereffect. Schoots (2010) benadrukt dat wijzigingen in leereffecten forse gevolgen hebben voor de kostprijs van energie. Dit komt omdat het effect cumulatief is en de periode waarover gerekend wordt relatief lang. Het is daarom van belang dit effect in de robuustheidsanalyse te betrekken. Wat zijn de gevolgen van de veronderstellingen over leereffecten voor het saldo van de KKBA en wat gebeurt er bij verandering van de parameters?

De conclusie van deze analyse is dat eventuele verandering van het leereffect geen substantiële wijziging van het saldo veroorzaakt. Tabel 4.10 laat het effect zien van een halvering van het leereffect. We zien dat de productiekosten van de energiemix maar beperkt reageren op deze verandering en dat de verandering van het saldo nog minder uitgesproken is. Voor dit beperkte effect zijn verschillende redenen:

- Niet alle energietechnologieën worden in gelijke mate door leereffecten geraakt. Tabel 4.4 specificeert de leereffecten die alleen voor de duurzame energieopties gelden. Uit de tabel blijkt dat vooral windenergie en zonne-energie sterk afhankelijk zijn van leereffecten om het kostenverschil met fossiele energie te verminderen. Verandering van de leereffecten raakt dan ook vooral het projectalternatief met relatief veel windenergie en zonne-energie, het projectalternatief hernieuwbaar. Zo laat de vergelijking van Tabel 4.10 met Tabel 1.1 zien dat in het projectalternatief hernieuwbaar in Blue Map halvering van het leereffect een stijging van circa 50% van de netto contante waarde van de productiekosten van de energiemix veroorzaakt. Het effect is dus substantieel. Voor BAU is het effect met circa 20% verandering in de productiekosten minder sterk. Het effect voor de projectalternatieven Fossiel is veel minder groot door de dominantie van CCS en kernenergie in deze alternatieven. Leereffecten hebben in de veronderstellingen van deze KKBA minder invloed op de productiekosten van deze energietechnologieën.
- Het effect van een verandering van het leereffect op de productiekosten van de energiemix is niet 1-op-1. Dit wordt veroorzaakt door de berekening van de productiekosten die een samenstelling is van de verandering van de totale productiekosten en het effect van energiebesparing. Dit wordt uitgelegd in Bijlage C.
- Het totale effect van een verandering van de productiekosten op het saldo van de KKBA wordt gedempt doordat verschillende posten ‘mee ademen’ met de productiekosten. Dit geldt vooral voor de bestedingsimpuls en het groei-effect die de hogere kosten voor een deel compenseren.

Tabel 4.10 Het saldo van de KKBA bij halvering van het leereffect*

| nulscenario projectalternatief | 'BAU'-scenario | | Blue Map scenario | |
|--------------------------------------------|----------------------|----------------------|---------------------|---------------------|
| | Fossiel | Hernieuwbaar | Fossiel | Hernieuwbaar |
| BATEN | | | | |
| <i>Directe effecten (energiemarkt)</i> | | | | |
| Energiebesparing | € 189 | € 189 | € 42 | € 42 |
| Voorzieningszekerheid | 0 à € 11 | 0 à € 10 | 0 à € 3 | 0 à € 4 |
| <i>Indirecte effecten (andere markten)</i> | | | | |
| Bestedingsimpuls | € 34 à € 79 | € 32 à € 69 | € 0 à € 14 | € 11 à € 22 |
| Structurele groei | € 3 à € 7 | € 6 à € 6 | -€ 4 à -€ 3 | € 4 à € 3 |
| <i>Externe effecten</i> | | | | |
| CO2 reductie tot 2050 | € 183 | € 175 | € 13 | € 15 |
| Reductie overige emissies | € 66 | € 61 | € 12 | € 18 |
| Totaal baten | € 474 à € 534 | € 462 à € 509 | € 63 à € 81 | € 90 à € 105 |
| KOSTEN | | | | |
| Besparingsmaatregelen | € 59 à € 178 | € 59 à € 178 | € 20 à € 59 | € 20 à € 59 |
| Productie energiemix | € 44 à € 84 | € 60 à € 60 | -€ 1 à € 12 | € 22 à € 16 |
| Reguleringskosten | € 33 à € 65 | € 33 à € 65 | € 42 à € 83 | € 42 à € 83 |
| Kosten belastingheffing | 0 à € 22 | 0 à € 29 | 0 à € 10 | 0 à € 13 |
| Totaal kosten | € 136 à € 349 | € 151 à € 332 | € 60 à € 165 | € 83 à € 171 |
| SALDO | € 185 à € 338 | € 177 à € 311 | -€ 83 à € 3 | -€ 67 à € 7 |

* netto contante waarden in miljarden euro (discontovoet = 5,5% resp. 4%)

4.4.4 Olieprijs

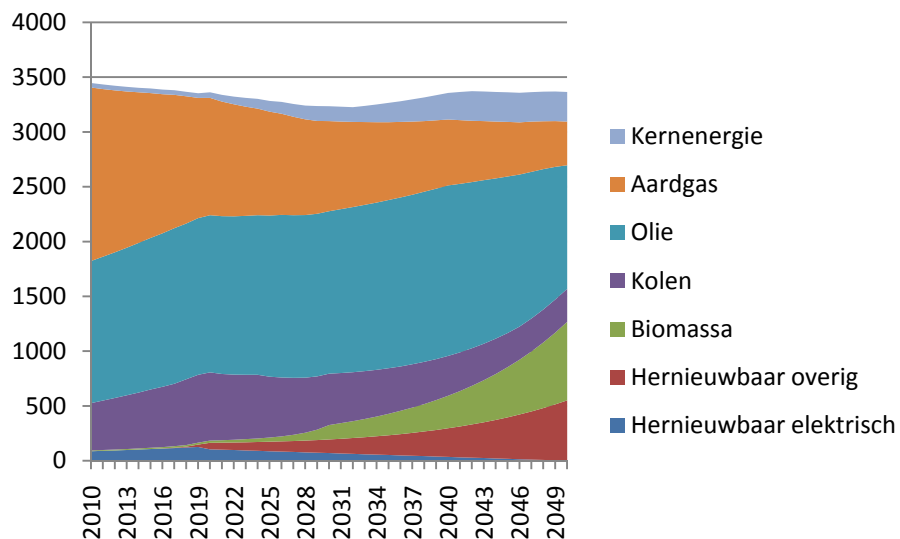
De scenario's voorzien een stijging van de olieprijs naar \$ 121 per vat in 2050 (BAU) respectievelijk \$ 70 per vat (Blue Map).³⁷ IEA heeft berekend dat de voorraden wereldwijd voldoende zijn om de voorziene stijging van de energievraag naar olie te bedienen. Dit is een theoretisch potentieel. Of dit potentieel uiteindelijk in productie komt hangt van onzekere factoren af, zoals de investeringen in de oliesector. IEA ziet dit als het belangrijkste knelpunt. Blijven de investeringen in de oliesector achter bij de verwachting, dan zullen de olieprijsen door schaarste verder stijgen. De olieprijsen in de scenario's gelden voor de lange termijn en zijn gebaseerd op de verwachte stijging van de kostprijs in de olieproductie. Een hogere olieprijs dan voorzien in de scenario's heeft verschillende effecten:

- De baat van energiebesparing neemt toe; besparen loont nu nog meer. Dit effect werkt positief door op het maatschappelijk saldo;
- Fossiele energie prijst zich uit de markt; het marktaandeel van hernieuwbare energie zal stijgen. Of dit daadwerkelijk gebeurt hangt van verschillende factoren. Een daarvan is de hefboom tussen de gasprijs en de kolenprijs die bepaalt in hoeverre kolenvermogen aan marktaandeel kan winnen bij een stijging van de olieprijs. Zo veronderstelt het WLO-scenario Global Economy dat een stijging van de olieprijs geen enkel effect heeft op het duurzame vermogen. Het enige gevolg is een toename van het kolenvermogen. Een tweede factor is de hefboom tussen kolen en hernieuwbare energie. Prijsdruk op kolen kan er uiteindelijk toe leiden dat ook de concurrentiepositie van hernieuwbare opties verbetert waarmee duurzame investeringen een boost krijgen. Dit effect is helaas lastig te berekenen bij gebrek aan gegevens over prijselasticiteiten.

³⁷ Dit zijn beide reële prijzen (dus gecorrigeerd voor inflatie). De nominale prijzen liggen veel hoger.

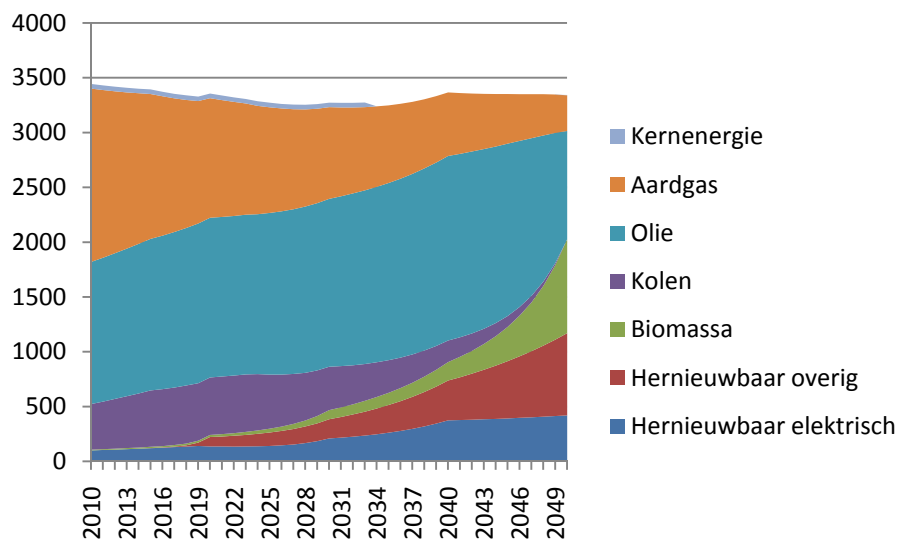
Bijlage A Energiemix BAU-scenario

Figuur A.1 Projectalternatief Fossiel in BAU, Productie primaire energiebronnen (in PJ)



Bron: SEO

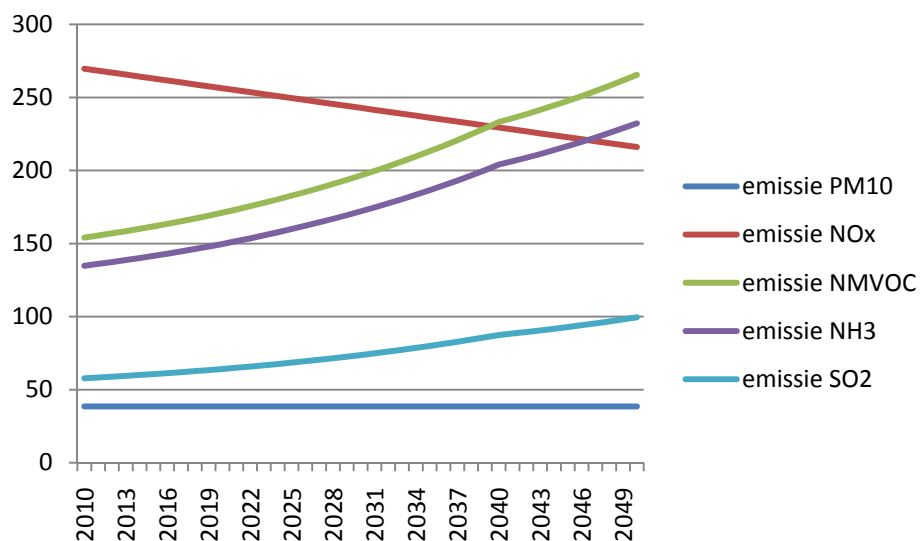
Figuur A.2 Projectalternatief Hernieuwbaar in BAU, Productie primaire energiebronnen (in PJ)



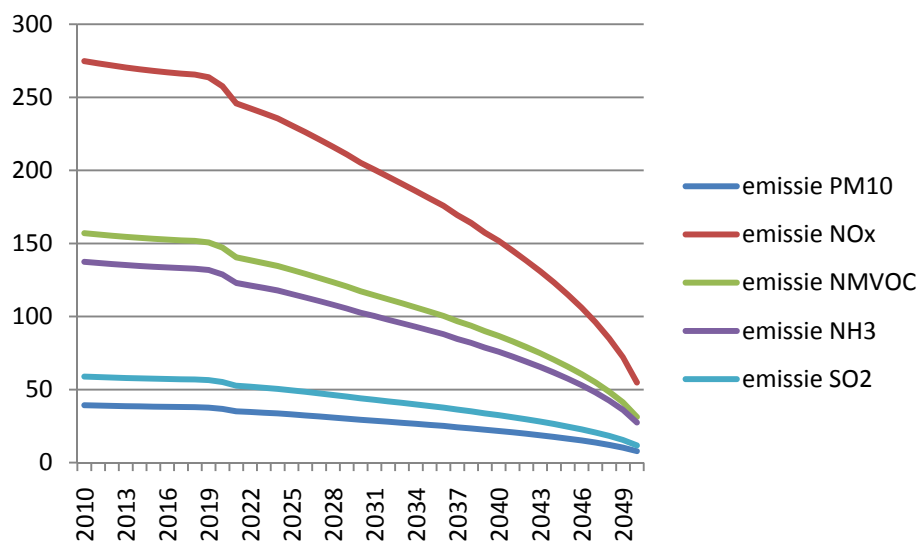
Bron: SEO

Bijlage B Overige emissies in BAU

Figuur B.1 Overige emissie in het nulalternatief BAU (in kton)



Figuur B.2 Overige emissie in het projectalternatief hernieuwbaar in BAU (in kton)



Bijlage C Berekening van de productiekosten van de energiemix

De berekening van de productiekosten van de energiemix is een gecompliceerde opgave omdat de verandering van de totale productiekosten een samengesteld effect meet. Immers, in het transitieproces verandert niet alleen de energiemix. Er wordt ook fors op energie bespaard waardoor de totale productie en dus de totale productiekosten dalen. Bij de berekening van de productiekosten via de formule [kosten = prijs \times hoeveelheid] worden beide effecten opgeteld. Voor de berekening van de kosten gemoeid met verandering van de energiemix moet dus een correctie voor energiebesparing worden gemaakt. Een voorbeeld kan dit verduidelijken.

Stel dat de energievraag V_1 200 PJ bedraagt. Als gevolg van energiebesparing daalt de vraag naar V_2 , 100 PJ. We nemen aan dat in deze fossiele economie 50% van de energieproductie olie gebaseerd is tegen een prijs van €1/PJ. De andere helft van de productie is kolen gebaseerd tegen een prijs van €0,5/PJ. De totale productiekosten bedragen nu voor zowel start- als eindsituatie:

$$TK_1 = 100PJ \times €1/PJ + 100PJ \times €0,5/PJ = € 150$$

$$TK_2 = 50PJ \times €1/PJ + 50PJ \times €0,5/PJ = € 75$$

Dit is de opbrengst van energiebesparing, dus nog voordat de energiemix veranderd is.

Nu passen we ook de energiemix aan om de transitie naar een duurzame energiehuishouding vorm te geven. We nemen aan dat de fossiele energiebronnen volledig worden vervangen door duurzame opties; olie door groene grondstoffen en kolen door windenergie. Beide duurzame opties hebben een aandeel van 50% in de totale productie. Duurzame energie is in dit voorbeeld iets duurder dan fossiele energie. Groene grondstoffen kosten €1,25/PJ en windenergie €0,75/PJ. De productiekosten zijn nu:

$$TK_{1-D} = 100PJ \times €1,25/PJ + 100PJ \times €0,75/PJ = € 200$$

$$TK_{2-D} = 50PJ \times €1,25/PJ + 50PJ \times €0,75/PJ = € 100$$

In de rekenmethode voor bepaling van het saldo van de KKBA passen we de verandering van de energiemix voor een specifiek jaar t toe op de totale productie voor hetzelfde jaar. We vergelijken daarmee de verandering van TK_1 naar TK_{2-D} en dus een samengesteld effect. De verandering van de totale kosten is als volgt opgebouwd:

$$\Delta \text{ Totale productiekosten} = \Delta \text{ productiekosten door energiebesparing} + \Delta \text{ kosten energiemix}$$

Het eerste effect zien we in het verschil tussen TK_1 en TK_2 en het tweede onderdeel zien we in het verschil tussen TK_2 en TK_{2-D} . Oftewel:

$$\Delta TK = (TK_{2-D} - TK_1) = -€50 = (TK_2 - TK_1) + (TK_{2-D} - TK_2) = (€75 - €150) + (€100 - €75)$$

Uit dit sommetje blijkt hoe het totale kostenverschil van – €50 is opgebouwd uit een kostenvoordeel door energiebesparing en een kostenwijziging door verandering van de energiemix.

De betekenis van deze uitkomst voor de KKBA is dat de totale productiekosten moeten worden gecorrigeerd voor het effect van energiebesparing om alleen de kosten van de energiemix in de KKBA op te kunnen nemen. Immers:

$$\Delta \text{Kosten energiemix} = \Delta \text{Totale productiekosten} - \Delta \text{productiekosten door energiebesparing}$$

Via deze formule zijn de productiekosten van de energiemix berekend. Dit kan niet straffeloos in een KKBA. Als de kosten met een bedrag van – €75 worden verlaagd dan moet dat ook gebeuren aan de batenkant. Dit is de post energiebesparing aan de batenkant, die in feite impliceert dat burgers en bedrijven welvaartswinst boeken bij energiebesparing omdat hiermee het besteedbaar inkomen groeit. Dit verklaart ook waarom de post energiebesparing aan de batenkant positief is. Aftrekken met een negatief getal (de energiebesparing) komt per saldo neer op optellen: $0 - (-€75) = €75$.

Dit rekensommetje is mede van belang voor de robuustheidanalyse. De kosten van de energiemix zoals die in het saldo van de KKBA zijn weergegeven zijn een samengesteld bedrag. Als de totale productiekosten veranderen door halvering van het leereffect zoals in de robuustheidanalyse, dan veranderen de kosten van de energiemix niet in dezelfde verhouding. De opbrengst van energiebesparing verandert immers niet door aanpassing van het leereffect.

Bijlage D Literatuur

- Algemene Energieraad (2008), *Brandstofmix in beweging, op zoek naar een goede balans*, Den Haag.
- Ark, B., Frankema, E. en H. Duteweerd (2004), 'Productivity and Employment Growth: an empirical review of long and medium run evidence', *Research memorandum GD-71*, Groningen.
- Bulkeley, H en K. Kern (2006), 'Local Government and the Governing of Climate Change in Germany and the UK', *Urban Studies*, pp. 2237-2259.
- CE Delft (2010), *Handboek Schaduwprijzen - Waardering en weging van emissies en milieueffecten*, Delft.
- Centraal Planbureau & Milieu- en Natuurplanbureau en Ruimtelijk Planbureau. (2006). *Welvaart en Leefomgeving: Achtergronddocument*, Den Haag.
- Centraal Planbureau (2010), *Centraal Economisch Plan 2010*, Den Haag.
- Congressional Budget Office. (2010). *How Policies to Reduce Greenhouse Gas Emissions Could Affect Employment*.
- Damen, K. (2007), *Reforming fossil fuel use, The Merits, Costs and Risks of Carbon Dioxide Capture and Storage*, proefschrift Universiteit Utrecht, Utrecht.
- Daniëls, B.W.; Elzenga, H.E. (2010), *Aanvullende beleidsopties Schoon en Zuinig*, Planbureau voor de leefomgeving, Bilthoven.
- Daniëls, B. en S. Kruitwagen (2010), *Referentieraming energie en emissies 2010-2020*, ECN: Petten.
- ECF European Climate Foundation. (2010). *Roadmap 2050: practical guide to a prosperous, low-carbon Europe*.
- ECN en MNP (2006a). *Optiedocument energie en emissies 2010/2020*, Petten.
- ECN en MNP (2006b), *Potentieelverkenning klimaatdoelstellingen en energiebesparing tot 2020 Analyses met het Optiedocument energie en emissies 2010/2020*, Petten.
- ECN (2006). *Instrumenten voor energiebesparing: Instrumenteerbaarheid van 2% besparing per jaar*.
- Égert, B., T. Koźluk en D. Sutherland (2009), *Infrastructure and growth: empirical evidence*, Economics department working paper no. 685, Parijs.
- E-kwadraat advies (2009), *Haalbaarheid van kleinschalige vergassing van biomassa tot groen gas in het kader van het transitiepad groen gas*, Leeuwarden.

- Ernst & Young (2008), *Comparative advantage and green business*, URN 08/1036, Londen.
- Essen, H. P. van, Davidson, M. D. & Brouwer, F. P. E. (2008), *Berekening van externe kosten van emissies voor verschillende voertuigen*, CE: Delft.
- Eijgenraam, C.J.J., Koopmans, C.C., Tang, P.J.G., & Verster, A.C.P. (2000), *Evaluatie van infrastructuurprojecten; Leidraad voor kosten-batenanalyse*, SDU: Den Haag.
- Fujimoto, H. (2009), 'High Thermal Insulation Technology Contributing to Residential Energy Saving', *Quarterly Review*, pp. 69-88.
- Gerdes, J. (2010), *Monitor Schoon en Zuinig: Stand van zaken april 2010*, ECN: Petten.
- Guellec, D. en B. van Pottelsberghe de la Potterie (2001), *R&D and Productivity Growth: Panel Data Analysis of 16 OECD Countries*, STI Working Paper no. 2001/3, Parijs.
- Harmelink, M., Graus, W., Marsidi, M., Saygin, D. & Worrell, E. (2010). *Potentieel voor Besparing en Efficiency van Energiegebruik in Nederland (BEEN)*. Harmelink consulting, Ecofys & Universiteit van Utrecht.
- Hazilla, M. en R.T. Kopp (1990), 'Social Cost of Environmental Quality Regulations: a general equilibrium analysis', *Journal of Political Economy*, vol. 98(4), pp. 853-873.
- Hoefnagels, R., Dornburg, V., Faaij, A. en M. Banse (2009), *Analysis of the Economic Impact of Large-Scale Deployment of Biomass Resources for Energy and Materials in the Netherlands*, Copernicus Institute: Utrecht.
- Holtinen, H., P. Meibom, A. Orths, B. Lange, M. O'Malley, J. O. Tande, A. Estanqueiro, E. Gomez, L. Söder, G. Strbac, J. Ch. Smith, F. van Hulle (2009), 'Impacts of large amounts of wind power on design and operation of power systems, results of IEA collaboration', *8th International Workshop on LargeScale Integration of Wind Power into Power Systems as well as on Transmission Networks of Offshore Wind Farms*, Bremen.
- Huizinga, F. en B. Smid (2004), *Vier vergezichten op Nederland: Productie, arbeid en sectorstructuur in vier scenario's tot 2040*, CPB bijzonder document no. 55, Den Haag.
- IEA (2007), *Energy Security and Climate Policy: Assessing Interactions*, Parijs.
- IEA (2008a), *Energy Technology Perspectives 2008*, Parijs.
- IEA. (2008b), *Energy Policies of IEA Countries: The Netherlands 2008 Review*, Parijs.
- IEA (2009a), *Power Generation in the 450 Scenario*, Parijs.
- IEA (2009b), *World Energy Outlook 2009*, Parijs.

- IEA (2010a), *Energy Technology Perspectives 2010*, Draft version, Parijs.
- IEA (2010b), *Projected Costs of Generating Electricity*, Parijs.
- Innovatieplatform (2010), *Duurzame energie: economisch groeigebied voor Nederland met groene potentie*, Den Haag.
- IPCC (2007), *Fourth Assessment Report: Climate Change (AR4)*, Genève.
- Joode, J. de, D. Kingma, M. Lijesen, M. Mulder en V. Shestalova (2004), *Energy Policies and Risks on Energy Markets: A cost-benefit analysis*, CPB Bijzondere publicatie 51, Den Haag.
- Jong, A. de, M. van Gastel, E.J. Bakker, H. Jeeninga, J. Dam, H. van Wolferen (2008), *Energie- en CO₂-besparingspotentieel van micro-wkk in Nederland (2010-2030) Update 2008*, Ecofys, ECN, Gasunie, TNO, Cogen en CE Delft.
- Jorgensen, D.T. en P. Wilcoxon (1990), 'Environmental regulation and U.S. economic growth', *RAND Journal of Economics*, vol. 21(2), pp. 314-340.
- Koopmans, C.C. (2006), *De waarde van normen*, SEO rapport no. 892, Amsterdam.
- Kuik, O. (2007). *Maatschappelijke- en milieukosten van elektriciteitsvoorziening: Een notitie voor het Platform Duurzame Elektriciteitsvoorziening*, IVM: Amsterdam
- Leiby, P.N. (2007), *Estimating the Energy Security Benefits of Reduced U.S. Oil imports*, Oak Ridge National Laboratory TM-2007/0238, Tennessee.
- Ministerie van Financiën (2010), *Brede Heroverweging Klimaat en Energie*, Den Haag.
- Mooij, R. de en P. Tang (2004), Vier vergezichten
- Noll, R. van der, Weda, J., & Tieben, B. (2010). *Energiebesparing in de gebouwde omgeving: maatschappelijke kosten-batenanalyse besparingsverplichtingen*, SEO Economisch Onderzoek (nog niet gepubliceerd).
- Nooij, M. de. & Theeuwes, J. (2002). *Kosten-batenanalyse van vestiging en verblijf internationale organisaties*. SEO-rapport 617, 2002.
- Nooij, M. de. & Theeuwes, J. (2004). 'De kosten en baten van internationale organisaties', *Tijdschrift voor Politieke Economie*, vol. 25 (3), pp. 116-142.
- Nordhaus, W. (2008), *A Question of Balance: weighing the options on global warming policies*, New Haven & London: Yale University Press.

Platform Duurzame Elektriciteit (2007), *Naar een duurzame elektriciteitsvoorziening: de Visie*, Den Haag.

Platform Gebouwde Omgeving (2007), *Energietransitieplan PEGO: werkgroep innovatie. Een innovatieplan energie-efficiency nieuwbouw en renovatie*, Utrecht.

Platform Groene Grondstoffen (2006), *Duurzame productie en ontwikkeling van biomassa, zowel in Nederland als in het buitenland*, Utrecht.

Platform Kas als Energiebron (2010), *Jaarplan 2010*, Den Haag

Platform Ketenefficiency *European Roadmap for Process Intensification*.

Platform Nieuw Gas (2008), *Vergezichten in gas*, Den Haag.

Regieorgaan Energietransitie (2008), *Duurzame energie in een nieuwe economische orde*, Utrecht.

Rehdanz, K. (2007), 'Determinants of residential space heating expenditures in Germany', *Energy Economics*, pp. 167-182.

Reith, J., E. Deurwaarder, K. Hemmes, A. Curvers, P. Kamersmans, W. Brandenburg en G. Zeeman (2005), *Bio-offshore: Grootschalige teelt van zeevieren in combinatie met offshore windparken in de Noordzee*, ECN-rapport 05-008, Petten.

Rooijers, F.J.; Leguijt, C.; Groot, M.I. (2010), *Versnelling van CO2-reductie in de Gebouwde Omgeving: Een waaier aan instrumenten*, CE: Delft.

Schmalensee, R. (1993), *The Costs of Environmental Protection*, MIT-CEEPR Working Paper no. 93-015, Boston: MA.

Schneider, H.; Jharap, R. (2010), 'Signed, Sealed, Delivered? Evaluatie van drie convenanten energiebesparing in de gebouwde omgeving: Meer met Minder, Lente-Akkoord, Energiebesparing Corporatiesector', in *Voortgangsrapportage Sectorakkoord Duurzaamheid in beweging - Versie 1.0*, pp. 41-115, Ministerie van VROM, Den Haag.

Schoots, K. (2010), *Innovatie en leercurven, Rapportage naar aanleiding van kennisvragen Werkgroep Energie en klimaat*, ECN 10-038, Amsterdam.

Spaar het Klimaat (2010), *De vrijblijvendheid voorbij: Op weg naar een structurele markt voor energiebesparing in de bestaande bouw*, Utrecht.

Stavins, R. (2008). *A Meaningful U.S. Cap-and-Trade System to Address Climate Change*, Fondazione Eni Enrico Mattei Working Paper no. 241, Milaan.

Van der Slot, A., J. Althoff, W. van den Berg (2010), *Stimulering van de economisch potentie van duurzame energie voor Nederland*, Roland Berger: Amsterdam.

- Verkeer en Waterstaat (2009), *Voortgangsrapportage 3 Anders Betalen voor Mobiliteit*, Den Haag.
- Verrips, A., H. de Vries, A. Seebregts en M. Lijesen (2005), *Windenergie op de Noordzee, Een maatschappelijke kosten-batenanalyse*, CPB Bijzondere publicatie 57, Den Haag.
- VROM (2005), *Evaluatienota Klimaatbeleid 2005*, Den Haag.
- VROM (2009), *Innovatieagenda Energie - Gebouwde Omgeving*.
- VROM-raad & AER. (2004). *Energietransitie: klimaat voor nieuwe kansen*, Den Haag.
- Wit, R., de Bruyn, S., Blom, M., Kampman, B., de Keizer, I. en L. de Boer (2003), *Policy options for improving security of energy supply, background document*, CE: Delft.
- World Business Council for Sustainable Development. (2004). *Mobility 2030: Meeting the challenges to sustainability*.
- WRR. (2006), *Klimaatstrategie - tussen ambitie en realisme*, Amsterdam University Press, Amsterdam.



seo economisch onderzoek

Roetersstraat 29 . 1018 WB Amsterdam . T (+31) 20 525 16 30 . F (+31) 20 525 16 86 . www.seo.nl